

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

E.A.P. DE INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS

**Estudio del potencial energético a partir de los residuos
sólidos en algunos distritos del cono norte de Lima
Metropolitana**

TESIS

para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Henry Manuel Pala Reyes

ASESOR

Andrés Valderrama Romero

Lima – Perú

2006

DEDICATORIA:

A mis padres Manuel y Zoraida por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante, por guiarme y brindarme su apoyo incondicional; a mi hermana Senovia quien día a día me apoya siempre desde la distancia.

A mis profesores quiénes me enrumbaron por el camino del conocimiento y el profesionalismo.

AGRADECIMIENTOS

- AL Doctor Andrés Valderrama Romero por su asesoría, apoyo y consejos oportunos.
- A todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron en la revisión y corrección de este trabajo de investigación

CONTENIDO

CAPITULO I

OBJETIVOS – GENERALIDADES - INTRODUCCIÓN

1. Objetivos.	6
1.1 Objetivos del estudio.	6
1.2 Ubicación del área de estudio.	7
1.3 Generalidades.	8
1.3.1 El problema de los Residuos Sólidos Municipales.	
1.3.2 Características de los Residuos Sólidos Municipales.	
1.3.2.1 Producción de Residuos Sólidos.	
1.3.2.2 Producción Per. Cábita de Residuos Sólidos.	
1.3.2.3 Producción de Residuos e Ingresos.	
1.3.3 El Ciclo de vida de los Residuos Sólidos Domiciliarios.	
1.3.4 Efectos de la inadecuada Gestión de Residuos Sólidos.	
1.3.4.1 Riesgos de la Salud.	
1.3.4.2 Riesgos Directos.	
1.3.4.3 Riesgos Indirectos.	
1.3.4.4 Efectos en el Ambiente.	
1.3.4.5 Contaminación del Agua.	
1.3.4.6 Contaminación del Suelo.	
1.3.4.7 Contaminación del Aire.	
1.3.4.8 Riesgos para el Desarrollo Social.	
1.3.4.9 Riesgos para el Desarrollo Urbano.	
1.4 Introducción	20
1.4.1 Justificación del Estudio.	21
1.4.1.1 Justificación de la generación de energía térmica a partir de los residuos sólidos.	
1.4.2 Antecedentes sobre el empleo de Residuos Sólidos como combustible para obtener energía.	26
1.4.2.1 Tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos.	
1.4.2.2 Bases para una Gestión Sostenible de los Residuos.	
1.4.2.3 Las nuevas realizaciones para el fomento de la Recuperación y el Aprovechamiento de los Residuos Sólidos.	
1.4.2.4 Los sistemas para el aprovechamiento integral de los RSU.	

CAPITULO II

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS DISTRITOS DE LIMA METROPOLITANA.

2. Situación demográfica de la ciudad de lima.	40
2.1 Procedimientos empleados para la obtención de las proyecciones revisadas de la población por distritos según el INEI.	44
2.2 Estratificación Socio-Económica de los Distritos.	50
2.2.1 Política de manejo de residuos sólidos en las municipalidades distritales en lima metropolitana.	51
2.3 Ubicación y caracterización de los residuos sólidos en los distritos del cono norte de lima metropolitana.	53
2.3.1 Ubicación.	54
2.3.1.1 Participación de la Población.	
2.3.1.2 Programa de Muestreo.	
2.3.1.3 Disposición Final.	
2.4 Caracterización de Residuos.	60
2.4.1 Recoger información Existente.	60
2.4.2 Identificar fuentes de generación de residuos sólidos y las características.	60
2.4.3 Desarrollar metodologías de muestreo.	62
2.4.4 Valoración de las desviaciones actuales de residuos.	62
2.4.5 Recoger la información existente.	63
2.4.6 Desarrollar metodología para estimar las cantidades de residuos actualmente desviados.	63
2.5 Construcción del plano de caracterización y distribución de residuos sólidos en los distritos del cono norte de lima metropolitana.	68
2.5.1 Caracterización del Cono Norte.	64
2.5.2 Caracterización de los residuos sólidos de la Municipalidades del Cono Norte.	68

CAPITULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO CUALITATIVO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS DISTRITOS DE LIMA METROPOLITANA.

3. Importancia de las cantidades de residuos.	74
---	----

3.1	Medidas utilizadas para valorar las cantidades de residuos sólidos.	75
3.1.1	Medidas para Cuantificar las Cantidades de Residuos Sólidos.	75
3.1.2	Generalización para la toma de Muestras.	77
3.2	Métodos utilizados para estimar las cantidades de residuos.	79
3.2.1	Niveles socioeconómicos.	82
3.2.2	Análisis de los residuos sólidos.	83
3.2.3	Determinación del Número de Muestras.	84
	3.2.3.1 Obtención del Nivel de confianza	
3.2.4	Determinación de las Propiedades de los Residuos Sólidos.	86
3.2.4.1	Estimación teórica de Producción per.- cápita (PPC).	
3.2.4.2	Determinación de la Densidad.	
3.2.4.3	Determinación de la Composición Física.	
3.2.4.4	Peso Específico.	
3.2.4.5	Determinación de la Humedad.	
3.2.4.6	Determinación del Poder Calorífico.	
3.2.5	Proceso para la obtención de energía térmica de los residuos sólidos.	94
3.2.6	Fundamento del Procesamiento Térmico.	94
3.2.6.1	Combustión Estequiometrica.	
3.2.6.2	Combustión con Aire en Exceso.	
3.2.6.3	Calor Generado por la Combustión.	
3.2.6.4	Sistemas de incineración.	
3.2.6.5	Tipos de sistemas de Incineración.	
3.2.6.6	Combustión de los residuos sólidos.	
3.2.6.7	Incineradoras de residuos sólidos.	
3.2.6.8	El Horno y la Combustión	
3.2.6.9	Depuración de gases	

CAPITULO IV

CALCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CONO NORTE DE LIMA METROPOLITANA.

4.	Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios por cada uno de los distritos del cono norte lima.	110
----	--	-----

4.1	Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Ancón.	
-----	---	--

4.1.1 Resultados del estudio.	112
4.2 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Carabaylo.	117
4.2.1 Resultados del estudio.	117
4.3 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Comas.	123
4.3.1 Resultados del estudio.	123
4.4 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Independencia.	128
4.4.1 Resultados del estudio.	128
4.5 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Los Olivos.	133
4.5.1 Resultados del estudio.	133
4.6 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Puente Piedra.	138
4.6.1 Resultados del estudio.	138
4.7 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de San Martín de Porres 2000.	143
4.7.1 Resultados del estudio.	143
4.8 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Ventanilla.	148
4.8.1 Resultados del estudio.	148
4.9 Producción y clasificación de los residuos sólidos por distritos en el cono norte de lima metropolitana.	154
4.10 Calculo de la humedad por cada uno de los distritos del cono norte.	156
4.11 Calculo del peso seco de los residuos sólidos por componente en los distritos del cono norte de lima metropolitana.	161
4.12 Determinación del contenido de la composición química de los Residuos sólidos.	165
4.13 Calculo de análisis de la composición química elemental de los componentes combustibles en los residuos sólidos domésticos por distrito del cono norte.	167
4.14 Calculo del contenido energético de los componentes de los Residuos sólidos.	178
4.15 Calculo del poder calorífico de los residuos sólidos domiciliarios del	

4.151	Determinación del Poder Calorífico inferior PCI de los Residuos Sólidos Domiciliarios del Cono Norte de Lima Metropolitana.	
4.1511	Determinación del cálculo del poder calorífico inferior para el distrito de Ancón.	
4.1512	Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Carabaylo.	
4.1513	Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Comas.	
4.1514	Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Independencia.	
4.1515	Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Los Olivos.	
4.1516	Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Puente Piedra.	
4.1517	Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de San Martín de Porres.	
4.1518	Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Ventanilla.	
4.16	Determinación de la cantidad de biogás generado por los residuos.	187

CAPITULO V

EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONOMICA Y DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TERMICA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS.

5.	Evaluación Técnica de la producción de Energía Térmica	198
5.1	Procesos Térmicos.	206
5.2	Evaluación Técnica del proyecto.	211
5.2.1	Idoneidad de los residuos como combustible.	
5.2.2	Selección de la tecnología de producción y recuperación de energía.	
5.2.2.1	La fiabilidad.	
5.2.2.2	Costos.	
5.2.2.3	Cumplimiento.	
5.2.3	Negociación de un acuerdo de venta de energía.	
5.2.4	Desarrollo de una estrategia para riesgos y garantías.	
5.2.5	Adquisición de un lugar para evacuar los rechazos de los procesos de generación de energía	

5.2.6	Desarrollo de una instalación para la recuperación de energía que la comunidad pueda pagar.	
5.2.7	Evaluación Económica del Proyecto.	
5.2.8	Costos Beneficios de una planta de Biogás en función de los RSD.	
5.2.9	El Reciclado	
5.3	Pasos a seguir en una evaluación económica para este tipo de proyectos	222
5.3.1	Costos Beneficios de una Planta de Biogás en Función de los RSD.	
5.3.2	El reciclado.	
5.4	Evaluación de la producción de Energía Térmica partir de los Residuos	222
5.4.1	Desarrollo de Equipos Eficientes de Generación de Energía Térmica a partir de Residuos Sólidos.	
5.5	Evaluación del Impacto Ambiental.	225
5.5.1	Problemas ambientales derivados de un mal manejo de residuos.	
5.5.2	La Procedencia de los Contaminantes	
5.5.3	Sistemas de Control Ambiental.	
5.5.3.1	Emisiones Atmosféricas.	
5.5.3.2	Sistemas para el Control de la Contaminación Atmosférica.	

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.0	Conclusiones	248
6.1	Recomendaciones.	252
6.2	Bibliografía	253

CAPITULO I

OBJETIVOS – GENERALIDADES - INTRODUCCIÓN

1. Objetivos.

El estudio tiene como objetivo el aprovechamiento del potencial energético a partir de los residuos sólidos en el Cono Norte de Lima Metropolitana y aplicarlo como una nueva fuente de alternativa energética y de bajo costo, así mismo ofrecer una posible solución no sólo a los problemas de ausencia de energía que sufre una gran parte de nuestra Capital sobre todo en las personas de escasos recursos, sino también crear una nueva forma de alternativa para conseguir energía térmica más económica.

1.1 Objetivos del estudio.

- 1 Caracterizar los residuos sólidos en los distritos de la ciudad de Lima Metropolitana.
- 2 Evaluar el potencial energético de los residuos sólidos en los distritos del Cono Norte de la Ciudad de Lima.
- 3 Obtener soluciones técnicas al problema del manejo de residuos sólidos en Lima Metropolitana.
- 4 Contribuir con el cuidado y preservación del medio ambiente.

1.2 Ubicación del área de estudio.

El área denominada Cono Norte es uno de los ejes de crecimiento más importante de Lima, se desarrolla principalmente sobre la cuenca del río Chillón y el espacio inter cuenca Chillón- Rimac, a lo largo de dos ejes viales metropolitanos que relacionan a la capital con el norte y centro del país (la Panamericana Norte y la Av. Túpac Amaru).

Tiene una superficie total de 101,160 Has., 10,430 (19%) corresponde al uso urbano, 9,313 (16%) a suelo agrícola y pre-urbano, y 36,000 (65 %) a zonas de reservas militares.

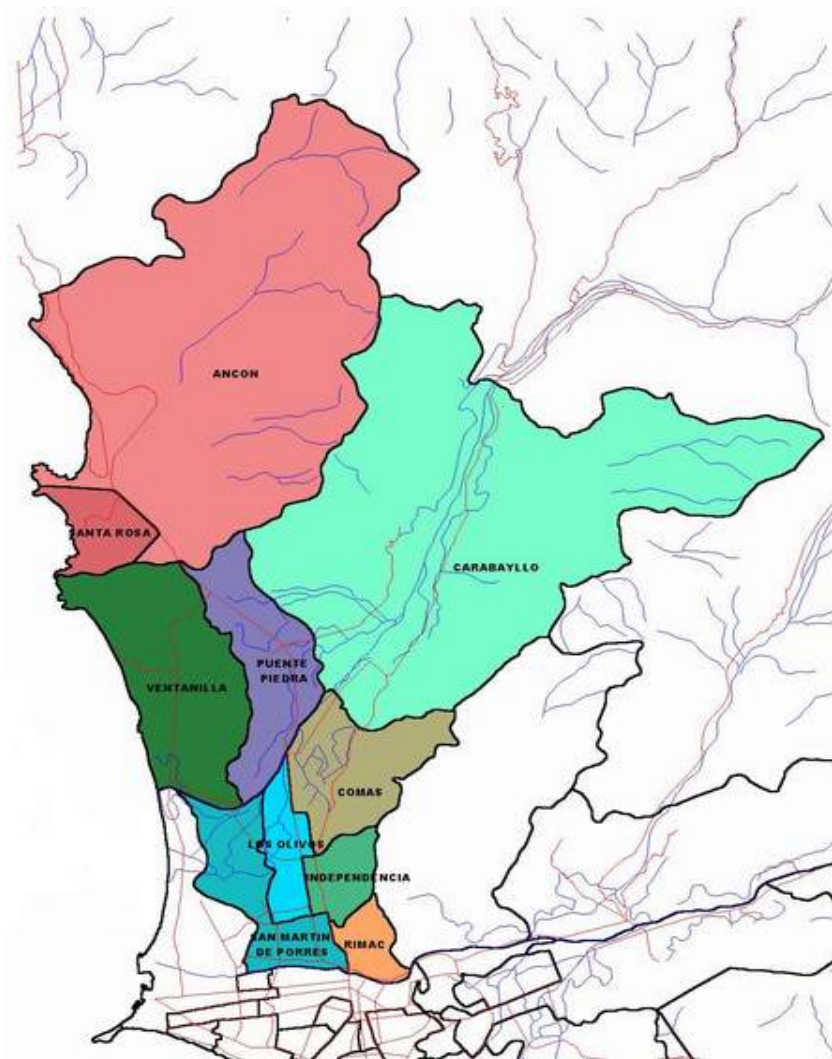
La densidad bruta promedio del Cono es de 140 hab. /Ha., superior al promedio de Lima Metropolitana (120 hab. /Ha.).

Administrativamente está conformado por nueve distritos de la provincia de Lima (San Martín de Porres, Comas, Los Olivos, Carabaylo, Independencia, Ancón, Santa Rosa y Rimac) y un distrito de la provincia constitucional del Callao (Ventanilla)¹⁶.

Según el censo de 1,981, existían en el Cono 990,463 habitantes. En 1990, trabajos efectuados por algunos centros de investigación estimaban una población de 1,464.600 habitantes. Para 1996 se estimó que la población llegaría a 1,792.340 habitantes, sin embargo, fuentes de las propias municipalidades estiman que ya en la actualidad la población del Cono Norte está bordeando los 2 millones de habitantes, casi la tercera parte de Lima Metropolitana.

¹⁶ Datos tomados del INEI Instituto Nacional de Estadística e Informática

GRAFICO Nº 1.0 Plano de los Distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana¹⁷.



1.3 Generalidades.

1.3.1 El problema de los Residuos Sólidos Municipales.

Los residuos sólidos municipales (RSM), son aquellos que provienen de las actividades domésticas, comerciales, industriales (pequeña industria y artesanía), institucionales (administrativas pública, establecimiento de educación), de mercado y los resultantes del barrido y limpieza de vías y

¹⁷ Tomada de uno de los informes de la ONG Alternativa, para el estudio de la generación de Residuos Sólidos

áreas públicas de un conglomerado urbano y cuya gestión está a cargo de las autoridades municipales.

La gestión de residuos sólidos, especialmente lo relacionado con la disposición final, es una tarea compleja que se ha convertido en un problema común en los países en vías de desarrollo. Esto se refleja en la falta de limpieza de las áreas públicas, la recuperación de residuos en la calle, el incremento de actividades informales, la descarga de residuos en cursos de agua o su abandono en botaderos a cielo abierto y la presencia de personas, de ambos sexos y de todas las edades, en estos sitios en condiciones infrahumanas, expuestas a toda la clase de enfermedades y accidentes.

El problema de los RSM (Residuos Sólidos Municipales) está presente en la mayoría de las ciudades y pequeñas poblaciones por su inadecuada gestión y tiende a agravarse en determinadas regiones como consecuencia de múltiples factores, entre ellos, el acelerado crecimiento de la población y su concentración en áreas urbanas, el desarrollo industrial, los cambios de hábito de consumo, el uso generalizado de envases y empaques de materiales desechables¹⁸.

Este panorama se agrava debido a la crisis económica y a la debilidad institucional que obliga a reducir el gasto público y a mantener tarifas bajas. Además la poca educación sanitaria y la escasa participación ciudadana generan una gran resistencia al momento de pagar los costos que implica el manejo y la disposición de residuos, lo que finalmente se traduce en pérdida de la calidad del servicio de aseo urbano, lo que constituye otra de las causas que agravan el problema. Todo ello compromete la salud pública

¹⁸ “Gestión Integral de Residuos Sólidos” George Tchobanoglous, Volumen I

aumenta la contaminación de los recursos naturales y el ambiente de nuestro territorio y deteriora la calidad de vida de la población.

Ante esta situación, es imprescindible que los municipios y los demás organismos afronten racionalmente y con valentía la gestión de los residuos sólidos, teniendo en cuenta, entre otras consideraciones; el nivel de educación ambiental de la comunidad y su capacidad de pago del servicio de aseo urbano, las implicancias que acarrea la mezcla de residuos; el valor económico de algunos de estos y su probable mercado; la complementariedad de los sistemas de tratamiento y disposición final, y el costo inherente a los procesos que supone su recolección, transporte, tratamiento y eliminación.

1.3.2 Características de los Residuos Sólidos Municipales.

1.3.2.1 Producción de Residuos Sólidos.

Los residuos sólidos se generan en todas aquellas actividades en las que los materiales son considerados por su propietario o poseedor como desechos sin ningún valor adicional y pueden ser abandonados o recogidos para su tratamiento o disposición final.

En el cuadro N° 1.0 se muestran las actividades generadoras en comparación con los componentes y el porcentaje total de residuos sólidos municipales.

CUADRO Nº 1.0 Actividades Generadoras de Residuos Sólidos en la Región de América Latina y el Caribe¹⁹.

Actividades generadoras	Componentes	% del total de RSM
Residencial y Domiciliario	Desperdicios de cocina, papeles y cartón, plástico, vidrio, metales, textiles, residuos de jardín, tierra, etc.	50 a 75
Comercial	Papel, cartón, plástico, madera, residuos de comida, vidrio, metales residuos especiales y peligrosos.	10 a 20
Institucional	Semejantes al comercial	5 a 15
Industria	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc. Incluye residuos de comida, cenizas, demolición y construcción, especiales y peligrosos.	5 a 30
Barrido de vías y áreas públicas	Residuos que arrojan los peatones, tierra, hojas, excremento, etc.	10 a 20
Fuente. Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe- ALC Washington DC: BID, OPS/OMS;1997		

1.3.2.2 Producción Per. Cápita de Residuos Sólidos.

La PPC (producción per. cápita) de residuos sólidos se puede medir en valores unitarios como kilogramos por habitantes por día, kilogramos por vivienda por día, kilogramo por cuadra por día, kilogramo por tonelada de cosecha o kilogramo por número de animales por día.

La PPC de residuos sólidos domiciliarios en la Región Lima varía de 0.375 Kg./hab./día. en el Distrito de Santa Rosa a 1.1 Kg./hab./día. en el Distrito de Surco. Cuando a este tipo de residuos se agregan otros como los producidos por el comercio, las diversas instituciones, la pequeña industria, el barrido de calles y otros, esta cantidad se incrementa entre 25 y 50%, o sea, que la producción diaria es de 0.5 a 1.5 Kg./hab./día. En los países industrializados, en cambio, se tiene

¹⁹ Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios OPS/CEPIS/ST28.

indicadores de producción por habitante mayores de un kilogramo por día, como se puede ver en el cuadro N° 1.1.

CUADRO N° 1.1 Índices de Producción de Residuos Sólidos e Ingresos²⁰.

Residuos sólidos	Países		
	Bajos Ingresos	Medianos Ingresos	Industrializados
Producción per. capita Kg./hab./día	0,3 a 0,6	0,5 a 1,0	0,7 a 2,2
T/hab./año	0,2	0,3	0,6
Ingresos promedio (US\$ DE 1998) US\$/hab./año	Menos de 750	Mayor a 750 Menor a 5000	Mas de 5000
PNUMA. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Programa de Gestión Urbana. Desechos Sólidos/ sector privado y rellenos sanitarios. Serie Gestión Urbana.			

1.3.2.3 Producción de Residuos e Ingresos.

A pesar de que los índices de producción de residuos en los países en desarrollo son más bajos que en los industrializados, estos índices no son proporcionalmente más bajos en relación con los ingresos. Sin embargo, el nivel de ingresos sí es considerablemente menor que el de los países industrializados, como se deduce del cuadro N° 1.1

En América Latina, con excepción de Argentina que antes de la crisis económica que sufrió tenía un ingreso Per. Cápita (IPC) de US\$ 11.940 por año, el resto tiene ingresos per. cápita menores de US\$ 6.000 por año, sin embargo, los países como Canadá, Estados Unidos, Alemania y Japón fluctúan entre US\$ 20.000 y US\$ 39.000 anuales²¹.

²⁰ Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios OPS/CEPIS/ST28.

²¹ Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios OPS/CEPIS/ST28.

La producción per. cápita de residuos sólidos no solo varía de un país a otro sino también de una población a otra e, incluso de un estrato socioeconómico a otro dentro de una misma ciudad. Lo anterior confirma que el grado de desarrollo del país, el ingreso Per-Cápita y el tamaño de las ciudades son factores determinantes para que se incremente su producción.

1.3.3 Composición de los Residuos Sólidos Urbanos.

Los RSM son aquellos subproductos originados en las actividades que se realizan en la vivienda, la oficina, el comercio y la industria (lo que se conoce comúnmente como basura industrial) y están compuestos de residuos orgánicos, tales como sobras de comida, hojas y restos de jardín, papel, cartón, madera y, en general, materiales biodegradables, e inorgánicos, a saber, vidrio, plástico, metales, objetos de caucho, material inerte y otros.

En términos generales, los resultados de estudio en Latinoamérica sobre composición de los RSM coinciden en destacar un alto porcentaje de materia orgánica putrescible (entre 50 y 80%), contenido moderados de papel y cartón (entre 8 y 18%), plástico y caucho (entre 3 y 14%) y vidrio y cerámica (entre 3 y 8%).

El cuadro N° 1.2 muestra la composición de los residuos sólidos como otro de los factores importantes que deben ser tenidos en cuenta en la gestión, especialmente para decidir las posibilidades de recuperación, sistemas de tratamientos disposición más apropiados.

CUADRO N° 1.2 Composición de los Residuos Sólidos Municipales²².

Composición (% peso Húmedo)	Países		
	Bajos ingresos	Medianos ingresos	Industrializados
Vegetales y materiales putrescibles	40 a 85	20 a 65	20 a 50
Papel y cartón	1 a 10	15 a 40	15 a 40
Plásticos	1 a 5	2 a 6	2 a 10
Metales	1 a 5	1 a 5	3 a 13
Vidrio	1 a 10	1 a 10	4 a 10
Caucho y cuero	1 a 5	1 a 5	2 a 10
Material inerte (cenizas, tierra, arena)	1 a 40	1 a 30	1 a 20
Otras Características			
Contenido de humedad %	40 a 80	40 a 60	20 a 30
Densidad Kg./m ³	250 a 500	170 a 330	100 a 170
Kcal/Kg.	800 a 1.100	1.100 a 1.300	1.500 a 2.700
Cointreau, Sandra J. Environmental managements of urban solid wastes in developing countries. A project guide, DC: The World Bank.			

También se puede apreciar que la calidad de los residuos sólidos de los países en vías de desarrollo es bastante pobre comparada con la de los industrializados, lo que es importante cuando se desea fomentar programas de tratamiento y reciclaje. En el caso de los países de América Latina y el Caribe (ALC), los RSM tiene un mayor contenido de materia orgánica, una humedad que varía de 35% a 55% y un mayor peso específico, que alcanza valores de 125 a 250 Kg./m³, cuando se miden sueltos.

1.3.4 El Ciclo de vida de los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD).

El proceso desde el momento en que los residuos domiciliarios son generados, hasta que son eliminados o se les da disposición final, se conoce como su ciclo de vida. En el ciclo de vida de los residuos se centra su manejo, que es el conjunto de acciones ordenadas, tendientes a evitar

²² Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios OPS/CEPIS/ST28

riesgos, daños o alteraciones a la salud humana, recursos y bienes; que pueden ser originados por la presencia de materiales indeseados, generados como resultado de actividades determinadas.

1.3.5 Efectos de la inadecuada Gestión de Residuos Sólidos.

1.3.5.1 Riesgos de la Salud.

El efecto de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no está bien determinada, sin embargo, se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas de ellas, conjuntamente con otros factores, principalmente por vías indirectas. Para tener una mayor claridad de sus efectos en la salud de las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos y los riesgos indirectos que provocan.

1.3.5.2 Riesgos Directos.

Ocasionados por el contacto directo con los RSD, así como por la costumbre de la población de mezclar los residuos con materiales peligrosos tales como: vidrios rotos, metales, jeringas, hojas de afeitar, excrementos de origen humano o animal, e incluso con residuos infecciosos de establecimientos hospitalarios y sustancias de la industria, los cuales pueden causar lesiones a los operarios de recolección de basura²³.

1.3.5.3 Riesgos Indirectos.

Al hacer referencia sobre los riesgos indirectos más importantes se refiere a la proliferación de animales o portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población, conocidos como vectores, la transmisión de determinadas enfermedades que se producen por la vía indirecta a través de los

²³ Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, Jorge Jaramillo

vectores o transmisores más comunes se producen a través de las moscas, mosquitos, cucarachas, ratas, perros y gatos callejeros que, además de alimento, encuentran en los residuos sólidos un ambiente favorable para su reproducción.

Según la revista Panamericana de la Salud, la acumulación de los residuos urbanos, puede causar más de 40 enfermedades que producen desde una simple colitis pasajera hasta infecciones de todo tipo que podrían ocasionar la muerte.²⁴

1.3.5.4 Efectos en el Ambiente.

El daño al medio ambiente más frecuente proviene del manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales lo constituye el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural. La degradación del paisaje natural, el cual es originado por la basura arrojada sin ningún control, va creciendo, cada vez es más común observar botaderos, a lo largo de la panamericana norte, a cielo abierto o basura amontonada en cualquier lugar.

1.3.5.5 Contaminación del Agua.

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, las basuras producidas por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, otros, se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas

²⁴ Resíduos Sólidos Urbanos ECO.PORTAL.NET Prof. Fernando Ariel Bonfanti

aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida. Uno de los efectos más importantes y serios, pero menos conocido es la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, por el vertimiento de basura a ríos y arroyos; así como, por el líquido percolado (lixiviado), producto de la descomposición de los residuos sólidos en los botaderos a cielo abierto. Es necesario llamar la atención respecto a la contaminación de las aguas subterráneas, conocidas como mantos freáticos o acuíferos, puesto que son fuentes de agua de poblaciones enteras. Las fuentes contaminadas implican consecuencias para la salud pública cuando no se tratan debidamente y grandes gastos de potabilización. La descarga de residuos sólidos a las corrientes de agua, como canales, ríos, mares y otros incrementan la carga orgánica que disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes que propician el desarrollo de algas y dan lugar a la eutrofización, causa de la muerte de peces, genera malos olores y deteriora este recurso²⁵, así mismo trae consigo la disminución de los cauces y la obstrucción tanto de estos que pueden ocasionar la pérdida de cultivos, de bienes materiales y lo que es más grave aún, de vidas humanas.

1.3.5.6 Contaminación del Suelo.

Un efecto negativo reconocible fácilmente es el deterioro estético de los pueblos y ciudades, con la consecuente desvalorización, tanto de los terrenos donde se localizan los botaderos como de las áreas vecinas, por el abandono y la acumulación de basura. Además, la contaminación o el envenenamiento de los suelos es uno de los

²⁵ Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, Jorge Jaramillo

perjuicios que producen los botaderos, debido a las descargas de sustancias tóxicas y a la falta de control por parte de la autoridad ambiental.

1.3.5.7 Contaminación del Aire.

Los residuos sólidos expuestos en los botaderos a cielo abierto disminuyen la calidad del aire que respiramos, tanto localmente como en los alrededores, a causa de las quemaduras y los humos, que reducen la visibilidad, y el polvo que levanta el viento en los periodos secos, ya que puede transportar a otros lugares microorganismos nocivos que producen trastornos tales como ardor en los ojos y en la nariz, irritación y picazón de la garganta y problemas respiratorios, además de las molestias que dan los olores pestilentes.

FIGURA Nº 1.0 Incineración de los RSD en plena Panamericana Norte el cual es un factor que contribuye a la contaminación del aire.



1.3.5.8 Riesgos para el Desarrollo Social.

Las difíciles condiciones económicas, las migraciones rurales, y niveles extremos de pobreza, han convertido los recursos contenidos en la basura en el medio económico de subsistencia de muchas

personas con sus familias. Esta realidad continuará mientras no existan para ellas otras formas más dignas de ganarse la vida. Existen riesgos sanitarios cuando se manejen residuos domésticos mezclados con los peligrosos, lo que ocurre en la mayoría de las ciudades de la región, pues no hay recolección selectiva de residuos peligrosos, salvo en pocas ciudades donde los desechos de origen hospitalario son recogidos de forma separada.

El grupo de población que se dedica a la recuperación de elementos en los sitios de disposición final demanda una mayor atención y esfuerzo del estado para el mejoramiento de sus condiciones de vida, por qué, además de los riesgos sanitarios directos a los cuales está expuesto, incide en las condiciones de salud de la población que se encuentra a su alrededor.

En los sectores socio económicos calificados de nivel A y B, el manejo de los residuos domiciliarios no pasa por respetar los horarios de la empresa de aseo y de exigir la limpieza de las zonas aledañas a la vivienda.

Las actitudes humanas, familiares, profesionales, instituciones y las relaciones entre los diferentes actores del sector están profundamente marcadas por la cultura, los valores y las percepciones existentes entre los distintos componentes de las sociedades urbanas y semirurales de la Región. De esta manera, cualquier propuesta de orden técnico u operativo deberá incluir la dimensión social y cultural de contexto en el cual se pretenda aplicar.

1.3.5.9 Riesgos para el Desarrollo Urbano.

Las autoridades se quejan habitualmente de la falta de disciplina social y cívica de la población y, por su parte, esta se queja de la

incapacidad de las instituciones públicas para incumplir su papel. El primer reclamo de los sectores populares se refiere a la cobertura. Los indicadores de cobertura son engañosos porque representa el número de usuarios que contribuye con una tarifa y no se refiere a la calidad del servicio. De esta manera, muchos pagan pero no reciben el servicio, y otros sencillamente ni lo pagan ni lo reciben por encontrarse su vecindario en una situación de ilegalidad en relación con las tierras o los servicios públicos.

Esta situación debe apreciarse como parte de la carencia de políticas urbanas, reflejadas en el evidente agravamiento de las condiciones habitacionales durante los últimos años en Lima Metropolitana.

Es común además que los botaderos a cielo abierto se sitúen en las áreas donde vive la población económicamente más pobre, lo que aumenta el grado de deterioro de todas las condiciones y, en consecuencia, devalúa las propiedades, lo que constituye un obstáculo para el desarrollo urbano de la ciudad. En este sentido, nos encontramos ante un círculo vicioso, dado que aun cuando el relleno sanitario se construye primero, no tarda en aparecer en los alrededores las viviendas de las personas más pobres.

Es más, algunas veces las mismas autoridades locales expiden licencias de construcción de viviendas sin respetar los retiros recomendados, según el caso, por lo que más tarde sus habitantes pueden entrar en conflicto con la obra.

1.4 Introducción

El aumento de residuos sólidos en la Ciudad de Lima, dada el incremento poblacional que ocupan las diversas comunas distritales de la gran Ciudad de

Lima Metropolitana (cerca del 40 % del total del País), otorga la necesidad de obtener energía, debido a diversos factores de migración socio económico le ha llevado siempre a residir en zonas donde el suministro estuviera garantizado, impidiéndole a veces la explotación de otras zonas que pueden resultar económicamente muy interesantes.

Ante este hecho y ante la problemática de que hacer con los residuos sólidos en Lima Metropolitana nace una alternativa viable de cómo poder dar solución a este tipo de problema con criterios técnicos y económicos de tal manera que se garantice los criterios de preservación del medio ambiente.

La Tesis tiene como finalidad plantear alternativas de cómo se podría aprovechar de manera más adecuada estos tipos de residuos sólidos que muchas veces son un serio problema para las diversas comunas distritales de la Ciudad de Lima.

En el presente estudio se hace un análisis de la composición de los residuos sólidos que se encuentran en la basura de los distritos de Lima Metropolitana, se efectúa la caracterización porcentual de dichos residuos sólidos y se presenta la metodología de cálculo de los parámetros de densidad, humedad y poder calorífico.

1.4.1 Justificación del Estudio.

En el marco de la modernización del Estado, de los programas de reducción de la pobreza y de las acciones de gestión ambiental (pública y privada) resulta necesario iniciar el proceso de establecer en el Perú una gestión sanitaria y ambientalmente adecuada de los residuos sólidos domiciliarios (RSD), a fin de contribuir con el desarrollo y el bienestar de la comunidad en general.

La gestión de los residuos sólidos involucra a todos los sectores de la sociedad, debido a que la generación está vinculada a cualquier actividad

humana (independiente, comunal, productiva, industrial, otros), lo cual, requiere una actuación coordinada y concertada.

En el Perú, las municipalidades tienen por ley la función privativa de la operación y de la gestión de los residuos sólidos municipales, constituyéndose así como los entes centrales dentro de la complejidad institucional actual, aunque se identifica una participación cada vez mayor de entidades no gubernamentales en las etapas operacionales del manejo de estos residuos. En el ámbito de los gobiernos regionales y departamentales hay aun una escasa actividad relacionada al sector de los RSD²⁶.

Al respecto, se describen algunos datos que sustentan la necesidad de priorizar el tema de RSD²⁷.

- Se estima que la generación de RSD a nivel nacional es de 4 millones de toneladas al año.
- El promedio de generación Per-Cápita es de 0.53 Kg./día de RSD por persona.
- Lima Metropolitana genera aproximadamente el 40% de los RRSS formados a nivel nacional. De estos, el 60% van a los rellenos sanitarios formalmente reconocidos por el municipio y el Ministerio de Salud y el 40 % van a botaderos informales. Los RRSS en botaderos clandestinos tienen impactos negativos en la salud, el medio ambiente y el ornato; además de tener una connotación social y económica adversa debido a la presencia de segregadores informales que recuperan productos para su posterior comercialización.

En Lima Metropolitana, que incorpora cada año aproximadamente a 150,000 personas procedentes de migraciones fuera de su propio crecimiento

²⁶ INICAM, PROVERDE, GAIA. Hacia una política nacional de clausura de botaderos. Lima, Perú.2002.

²⁷ Alternativa. Residuos Sólidos en el Cono Norte de Lima <http://www.alter.org.pe>

vegetativo, el problema adquiere una mayor dimensión. Con alrededor de siete millones de habitantes, estructurar un sistema que no sólo contemple la recolección, el transporte y la disposición final de los residuos resulta una labor sumamente compleja, porque se debe lograr la voluntad política de las autoridades y una actitud participativa de la población, para concretar una adecuada salida del problema. Sin duda, el deterioro ambiental de una ciudad que crece aceleradamente requiere de la orientación de una práctica planificada, ello tiene que partir del reconocimiento de los roles que competen a las instancias provinciales y distritales del gobierno local, así como el que poseen las instituciones sectoriales que, si bien se hallan involucradas en el manejo de residuos sólidos, no poseen una estructura oficial de responsabilidades frente a lo que demanda su tratamiento.

La finalidad de este tesis se enfoca en al aprovechamiento energético que se obtendría de los residuos sólidos ofreciendo una alternativa de solución basado en un conjunto de acciones normativas, financieras y de planeamiento que se pueden aplicar a todas las etapas del manejo de RSD, desde su generación, basándose en criterios ambientales y de viabilidad técnica económica para la reducción en la fuente, y el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de dichos residuos generando energía.

1.4.1.1 Justificación de la generación de energía térmica a partir de los RSD

La materia orgánica presente en nuestros residuos, más el aire y el agua, sometida a una presión y temperatura constante, hace que los desperdicios sólidos comiencen a descomponerse por un proceso natural que dura años y en el cual se producen diferentes gases, entre ellos el metano, además de dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y ácido sulfhídrico en menor cantidad.

La mezcla de gases que se obtiene a partir de la descomposición de los residuos orgánicos, como el estiércol animal, los productos vegetales o residuos urbanos, en un ambiente anaerobio (sin oxígeno), se conoce como “biogás”. Este es un combustible económico y renovable; se utiliza en vehículos de motor, para mezclar con la gasolina, el alumbrado y para usos industriales y domésticos. La producción de biogás, además de aprovechar materia considerada como desperdicio, origina como subproducto un fertilizante de calidad excelente. El biogás tiene mucha importancia en los países en desarrollo y en los industrializados está aumentando la atención por este combustible para intentar reducir la dependencia actual del petróleo²⁸.

Los beneficios ambientales que reporta la utilización de este tipo de energía renovable son incalculables, ya que permite utilizar residuos que contaminan, para generar energía limpia y económicamente conveniente.

Probablemente el principal inconveniente consiste en la creación de vertederos Municipales o plantas de tratamiento térmico, cuya finalidad será la producción de energía, lo que implica grandes extensiones de terreno que serán obtenidas de los terrenos municipales o bien afectando espacios de vegetación.

La tendencia actual en el correcto tratamiento de los residuos sólidos urbanos generados, queda determinada en los siguientes pasos:

- Recuperación y reciclaje de toda aquella fracción aprovechable (compost, papel-cartón, plásticos, etc.) mediante plantas de

²⁸ Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe, Acurio,G.; Rossin,A.; Teixeira, P.; Zepeda, F., OPS/Washington, D.C., US), 2002, 153 p.

reciclaje de RSD., recogida selectiva de envases y otra técnica de selección y recuperación. Teniendo en cuenta que el rendimiento de estos sistemas e instalaciones no es del 100 %, y que no todos los residuos son reciclables, resulta siempre una fracción importante de residuo considerado rechazo.

- Esta fracción, es factible de ser tratada a través de las nuevas tecnologías de valorización energética, obteniendo energía eléctrica y un residuo, la escoria, que puede ser eliminada en vertedero controlado o reutilizada en usos secundarios.
- El vertido controlado es hoy por hoy la solución de mayor implantación. La tendencia futura es eliminar en vertedero únicamente la fracción que ha sido totalmente valorizada, primero mediante el reciclaje y después mediante incineración.

El aprovechamiento de energía eléctrica se realiza hoy en día por dos vías; a partir de la combustión del biogás generado en los vertederos controlados de RSD, como producto de la fermentación anaerobia de la materia orgánica vertida, y también en plantas de tratamiento térmico, mediante el aprovechamiento del poder calorífico propio de los residuos. De la suma de ambos procesos, se deduce claramente la fuente de materia prima tan importante que constituyen los RSD, considerable incluso como energía renovable.

En los procesos de valorización es en donde existen los mayores retos tecnológicos. El aprovechamiento energético de estos residuos puede realizarse por dos vías: mediante procesos microbiológicos: fermentación anaerobia o biogasificación, y mediante procesos térmicos: pirolisis, gasificación y combustión.

1.4.2 Antecedentes sobre el empleo de Residuos Sólidos como combustible para obtener energía.

1.4.2.1 Tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos.

Se denomina tratamiento de residuos sólidos urbanos al conjunto de operaciones encaminadas a la eliminación de estos residuos o al aprovechamiento de los materiales que contienen. Los residuos sólidos urbanos constituyen la biomasa residual más aprovechable, ya que está concentrada; es imprescindible su recogida y su transporte. El concepto de valorizar engloba todas aquellas operaciones mediante las cuales un residuo se vuelve a utilizar total o parcialmente. Básicamente, los sistemas de valoración de los residuos son:

- **Reutilización:** Utilización de un residuo como producto final en su forma original, para el mismo o diferente uso.
- **Reciclaje:** Proceso que tiene por objeto la recuperación de forma directa o indirecta de los componentes que contienen los residuos.
- **Regeneración:** Operación de valorización mediante la cual un residuo es devuelto a sus características originales de forma total o parcial, y que permite su uso en el mismo estado que tenía antes de transformarse en residuo.
- **Recuperación:** Operación de valorización mediante la cual se extraen los recursos del residuo.

Los habitantes de los países desarrollados producen anualmente un enorme volumen de basura doméstica, motivado, entre otras razones, por el desenfreno consumista.

La valorización energética es el aprovechamiento del poder calorífico del residuo, cuando éste sea asimilable al de un combustible y el balance ambiental sea favorable. Lo ideal sería recuperar y reutilizar la mayor parte de los residuos. Los métodos de tratamiento más utilizados actualmente son²⁹:

1. Vertido controlado.
2. Incineración.
3. Reciclado.
4. Transformación o aprovechamiento por técnicas específicas.
5. Producción de compost.

Cualquier método de tratamiento de los residuos sólidos requerirá de un vertedero controlado para la disposición final. Una vez retirados los residuos peligrosos y la materia orgánica fermentable, el resto de los residuos contienen materiales que podrán ser reciclados, por ejemplo: Con el papel, las telas y el cartón se hace una nueva pasta de papel, lo que contribuye a talar menos árboles. Con el vidrio se pueden fabricar nuevas botellas y envases sin necesidad de más materias primas y con mucho menor gasto de energía. Los plásticos se pueden usar para fabricar nueva materia prima y construir objetos diversos. Los residuos no aprovechables, aunque pudieran ser reciclados se podrán comprimir y cubrir con arcilla. Uno de los mayores riesgos es que contaminen las aguas subterráneas y para evitarlo se debe impermeabilizar bien el suelo del vertedero y evitar que las aguas de lluvias y otras salgan sin tratamiento del vertedero, arrastrando contaminantes al exterior. Otro riesgo está en los malos olores y la concentración de gases explosivos producidos al

²⁹ "Gestión Integral de Residuos Sólidos"; Goerge Tchobanoglous, Volumen I.

fermentarse la basura. Para evitar esto se colocan dispositivos de recogida de gases que luego se pueden quemar para producir energía. Los residuos enterrados puede ser recogido y canalizado hasta una central térmica Este método presenta la ventaja de ocupar espacios que han sido deteriorados y que de esta forma pueden recuperarse para uso de la comunidad; es un sistema económico y tiene capacidad para absorber variaciones en el volumen de residuos generados. Su principal desventaja es la elección de un terreno adecuado para su ubicación.

Por otro lado, el relleno sanitario constituye la alternativa inmediata al vertedero incontrolado y a los botaderos a cielo abierto. La degradación de la materia orgánica de los residuos depositados genera biogás, o gas de vertedero, que contiene alrededor de 50 % de metano. El poder calorífico del gas generado tiene un valor medio de 4 200 Kcal./m³. Para la explotación del relleno sanitario como recurso energético es necesario conocer su conformación y edad, así como las características de la basura depositada. Cuando existe incertidumbre al respecto es necesario recurrir a métodos de análisis de los residuos enterrados, con el objetivo de estimar la factibilidad de su explotación para recuperar su energía. El biogás que se genera a partir de la descomposición de la materia orgánica, que se convertiría en energía eléctrica o puede ser utilizado como combustible.

- **Incineración**

Quemar la basura tiene varias ventajas, pero también algunos inconvenientes. Entre las ventajas están que se reduce mucho el volumen de vertidos y se obtienen cantidades apreciables de

energía. Entre las desventajas está el que se producen gases contaminantes, algunos potencialmente peligrosos para la salud humana, como las dioxinas. Existen incineradoras de avanzada tecnología que, si funcionan bien, reducen mucho los aspectos negativos, pero son costosas de construcción y manejo, y para que sean rentables deben tratar grandes cantidades de basura.

- **Producción de compost.**

Compostar no es más que imitar el proceso de fermentación que ocurre normalmente en el suelo de un bosque, pero de forma acelerada y dirigida. El compostaje es un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos, en condiciones controladas. Las bacterias actuantes son termófilas, desarrollándose el proceso a temperaturas comprendidas entre 50° y 70°C, lo que produce la eliminación de los gérmenes patógenos y la inocuidad del producto. Con esta técnica se obtiene como producto final una especie de «humus» llamado compost que se puede usar para abonar suelos, alimentar ganado, obtener combustibles, otros. En este proceso es fundamental que la materia orgánica no llegue contaminada con sustancias tóxicas, por lo que se separa la mayor parte de los metales, vidrios y plásticos que contiene la basura y que hacen inútil el compost para usos biológicos, al ser muy difícil y cara su eliminación. Los problemas ambientales son principalmente de actitud. Por consiguiente, la educación ambiental de la población es un requisito básico.

Finalmente, debe mencionarse el importante factor de la participación ciudadana, sin ella la gestión integral de los residuos no es viable.

- **Consideraciones básicas acerca de los Residuos Sólidos.**

Aún dentro de la concepción más "débil" del término "sostenible" aplicado a desarrollo, debemos aceptar que los residuos derivados de las actividades económicas extractivas, transformadoras, consumidoras no son otra cosa que recursos naturales desaprovechados. Ello exige en aras de un mínimo rigor tener en cuenta no sólo su condición y estado material, sino su contenido energético. Por residuos debemos considerar tanto los materiales, sólidos, líquidos y gaseosos con su contenido energético intrínseco, como los exclusivamente energéticos: vibraciones, radiactivos, electromagnéticos, que abandonamos en el entorno. A esto es preciso señalar que los límites del hipotético crecimiento indefinido no están sólo establecidos por el agotamiento o progresiva disminución de la disponibilidad de los recursos, sino por la propia y limitada capacidad de la biosfera para acoger los residuos. La cuestión de los residuos afecta en general y de forma horizontal a todas las actividades, personas y espacios, convirtiéndose en problema no sólo por lo que representa en términos de recursos abandonados sino por la creciente incapacidad para encontrar lugares que permitan su acomodo correcto desde un punto de vista ecológico. Esta incapacidad viene determinada no sólo por la excesiva cantidad de residuos que generamos sino por su extraordinaria peligrosidad en determinados casos: residuos farmacéuticos,

algunos organoclorados entre otros. A pesar de generar más residuos que bienes útiles, debido a nuestra baja eficiencia en las actividades económicas, no se conoce ni la cuantía ni la peligrosidad de los mismos. En Perú no existe una contabilidad de los recursos naturales abandonados en forma de residuos, pero se puede estimar en unos cientos millones de toneladas anuales los residuos materiales generados en las actividades de extracción, transformación, distribución y consumo; casi la mitad de esta cifra corresponde tanto a residuos gaseosos (CO₂ neto, en su mayoría) como a residuos sólidos (en gran parte materia orgánica fermentable). Partiendo de la premisa de que el mejor residuo es el que no se produce, se llega lógicamente a entender que la prevención debe ser el objetivo prioritario, para aquellos residuos de difícil aprovechamiento: peligrosos (radiactivos), la mayor parte de los gaseosos, electromagnéticos, vibraciones (ruido), calor; pero no todos los residuos que se generan pueden ser fácilmente evitados por lo que aún siendo la prevención el objetivo principal a conseguir entendida como la evitación absoluta de residuos y no el desplazamiento geográfico o el cambio de estado de los mismos, ésta debe ser contemplada conjuntamente con la reutilización, reciclaje y disposición final lo más respetuosa posible con el entorno de los inevitables residuos que se obtengan. Sólo podremos encontrar un destino final aceptable ecológicamente hablando para los residuos si estos no son excesivos y, sobre todo, si carecen de peligrosidad para la biosfera e incluso para el espacio exterior. Una gestión "sostenible" de los recursos naturales traspasa necesariamente el

marco espacial de la ciudad y obliga a actuar de forma global y coordinadamente a lo largo de todas las actividades económicas: extracción, transformación, distribución y consumo, integrando en las mismas los objetivos de prevención y aprovechamiento de los residuos con el fin de reducir progresivamente la actividad extractiva y las agresiones ambientales derivadas de la generación de residuos; reducir los millones de toneladas de residuos de CO₂ netas (descontando lo que ya atenúa la vegetación) que emitimos anualmente a la atmósfera sólo sería posible si se actuase sobre el sector energético y del transporte principalmente (reducción) y se aumentase espectacularmente la cubierta vegetal (reciclaje), por citar un ejemplo. Evolucionar hacia una mayor sostenibilidad en la gestión de los recursos implica ser capaz de evaluar la eficiencia alcanzada en términos de ahorro de recursos naturales tanto materiales como energéticos y evitando los residuos. La metodología que intenta ponerse a punto actualmente, no sin dificultades, para evaluar comparativamente la eficiencia en el uso de los recursos se basa en el estudio integral del "ciclo de vida" de la "cuna a la tumba" con el propósito de conocer el balance ecológico o "eco balance" de todo el proceso: extracción, transformación, distribución, consumo, reutilización, reciclaje, disposición final de los residuos (tanto materiales como energéticos). Lógicamente gestionar de forma más sostenible los recursos implica acercarse progresivamente hacia la "producción limpia", objetivo que implica no sólo el menor consumo de recursos (materias primas y energía), sino la drástica disminución de los residuos gracias a la

integración de la reutilización y el reciclaje de los mismos en el proceso productivo; Los bienes así producidos deben a su vez ser diseñados para alcanzar una mayor durabilidad, duplicar la vida útil de los objetos significa reducir a la mitad los residuos en su fase de consumo y una posterior reciclabilidad, no obstante la producción limpia y las estrategias de durabilidad son posibles generalmente en países de alto nivel tecnológico y gran capacidad de planificación e integración social en los sectores productivos y de consumo lejos de ser extensible al resto del planeta, sólo está desarrollada en algunos limitados sectores. En algunos países los conceptos de "eco balance", "producción limpia" o "durabilidad" apenas son manejados fuera de las simples estrategias del "marketing" verde, y la prevención y reducción de residuos no son objetivos aún perseguidos ni por las administraciones públicas ni por los sectores de la producción y el consumo.

1.4.2.2 Bases para una Gestión Sostenible de los Residuos.

A pesar de las grandes cantidades de residuos que se generan en Perú, no es ni la pérdida de recursos naturales, ni incluso la peligrosidad para el entorno lo que más suele preocupar a los gestores públicos o privados de los residuos, sino las dificultades de tipo económicas, geográficas, ecológicas, sociales para encontrar un destino final aceptable para los mismos.

La situación más paradójica se da en relación a la fracción mayoritaria de los residuos sólidos: La constituida por materia orgánica fermentable, ya sea ésta de origen urbano (doméstico, mercados, hostelería), industrial, agropecuario o forestal. Por un lado

nos encontramos con el enorme déficit de materia orgánica de nuestros suelos duplicar al menos el escaso 1% con que cuentan muchos de ellos, lo que facilita y aumenta el quizás mayor problema ecológico peruano: la erosión y desertización de nuestro territorio; por otro lado, el incorrecto tratamiento o simple abandono de estos residuos ocasiona gravísimos daños al medio, contribuyendo a agravar considerablemente el otro gran problema ecológico: la contaminación de las aguas dulces el 75% de la cual es debida a los vertidos de materia orgánica, así como a incrementar los costos de tratamiento (vertederos controlados, incineración) y a fomentar la incultura ecológica, incluida la parte que afecta a los agricultores y el rechazo social de la gestión de los residuos.

Reciclar los residuos orgánicos fermentables debería ser en Perú prioritario aún más en este caso, lógicamente, que la prevención mediante un proceso de fermentación aerobia exquisitamente controlada contamos con medios y experiencia para ello que permita la obtención de un abono orgánico cuya adecuada utilización, ya sea urbana (parques), agrícola (cultivos más ecológicos) o forestal (recuperación de espacios quemados), permita ir devolviendo al suelo la materia orgánica y los nutrientes que extraigamos de él y que tanto necesita. Aún reciclando o compostando todos los residuos orgánicos no se cubriría más que una pequeña parte de las necesidades. Reciclar masivamente estos residuos, el único reciclaje propiamente dicho que podemos hacer de forma muy similar al que se produce en la naturaleza exige hacerlo desde una perspectiva o estrategia que contemple no sólo objetivos puramente ecológicos: Freno a la erosión del suelo, sino otros de contenido también

económico y social: recuperación de espacios quemados y desarrollo de una agricultura más ecológica y sostenible que pueda ir prescindiendo de los enormes costos ambientales y económicos de los fertilizantes inorgánicos de síntesis, sustituyendo al máximo las cuantiosas importaciones de estos abonos por el reciclaje, cuya producción debería al menos ser apoyada, legal, técnica y económicamente de la misma forma que lo es la de fertilizantes sintéticos. Respecto a la otra importante fracción de los residuos sólidos y la cuál es motivo de investigación en esta tesis es la constituida por los materiales directamente reciclables por la industria: papeles, cartones, metales, vidrios, plásticos, textiles, cauchos, conviene señalar la también paradójica situación de que mientras su presencia es abundante en las basuras, tanto de origen urbano como industrial, la industria recicladora peruana no se da abasto y se tiene que buscar otras fuentes y alternativas que en muchos casos están presentes en las basuras, mientras en éstas se gastan cada vez sumas más elevadas, en su recogida, transporte y "tratamiento" o "eliminación", términos éstos últimos que en realidad se refieren a meros intentos de ocultación (vertido controlado en el mejor de los casos) y transformación físico-química (incineración) muy poco respetuosos con el entorno. Satisfacer adecuadamente la demanda real de residuos sólidos ya sean estos para aprovechamiento industrial o agrícola exige que, como corresponde a su condición de recursos naturales, sean, al menos cuidadosamente recogidos por separado y debidamente tratados posteriormente para su mejor integración ecológica, económica y social en los ciclos productivos que así podrían ser cada vez más locales y cerrados en

materiales y energía; aquí el papel de la ciudad, gran generadora de residuos, y de sus ciudadanos, toma de decisiones y participación colectiva en la gestión de los recursos y los residuos, es decisivo.

Actualmente, la integración de los aún considerables RSD, tanto inertes como orgánicos fermentables, en los ciclos productivos industriales y agrícolas, está casi en su totalidad presidida por criterios estrictamente económicos, aunque ello no signifique que no se obtengan también beneficios ecológicos que generalmente podrían ser mayores y sociales (generación de empleo). Más de cinco millones de toneladas de residuos sólidos, gran parte de los cuales tienen su origen urbano, son anualmente aprovechados por la industria y la agricultura gracias a una actividad recuperadora y recicladora que alcanza muchas veces su máxima eficacia cuando es llevada a cabo por los sectores más marginados de la sociedad; como ejemplo significativo cabe señalar que la recuperación urbana de chatarras metálicas por parte de los poblados marginales que existen es probablemente superior a la obtenida por todos los sistemas públicos existentes en Perú para la recuperación de residuos

1.4.2.3 Las nuevas realizaciones para el fomento de la Recuperación y el Aprovechamiento de los Residuos Sólidos.

Las tradicionales instalaciones de selección y reciclaje de residuos sólidos urbanos (RSU) recogidos indiscriminadamente en origen, y de las que se encuentran en medio centenar en Perú la mayoría de estos en lugares no adecuados y de forma irregular, se están convirtiendo en los abastecedores de las pocas recicladoras que existen en el país, están desapareciendo a medida que su

rendimiento descendía en cuanto a materiales recuperados y calidad del reciclaje elaborado; las causas de este descenso hay que situarlas en el plano técnico diseño equivocado a partir de tecnología de selección (relativamente válida cuando la basura contenía pocos componentes, fácilmente separables y no peligrosos), en el político-económico: Trato discriminatorio de la industria recuperadora y recicladora frente a la extractiva y de fertilizantes químicos, y en el cultural: falta de una conciencia ambiental crítica y amplia entre la población y las administraciones capaz de apoyar aquellos aspectos positivos que ofrecían algunas de estas instalaciones (quizás la mejor de ellas, en su momento, era la que surgió en algunas municipalidades de Lima Metropolitana). Por otro lado el aumento de la generación de RSU (residuos sólidos urbanos) ha ido en paralelo al del grado de complejidad y peligrosidad de los componentes de la basura; a su vez el esfuerzo de recuperación y aprovechamiento ha ido descendiendo. Como consecuencia de ello, las crecientes cantidades de RSD han comenzado a constituir un problema cada vez mayor: contaminación de suelo, aire, aguas y degradación del paisaje debido a los vertidos y quemas incontroladas; rechazo de la población hacia los tratamientos más antiecológicos (incineración, vertederos controlados e incluso planta de selección y reciclaje sin separación de origen); y últimamente discriminación y perjuicios económicos directos respecto a los países de Sudamérica y de la Unión Europea, que cuentan con sistemas avanzados generalmente más complejos y costosos de recuperación y reciclaje de RSD, de los cuales Alemania es el más importante (punto verde) por citar un ejemplo. Como consecuencia de todo o algunos según los casos de

las causas y circunstancias antes señaladas, se han ido abriendo paso con lentitud y no sin dificultades, pero generalmente con gran apoyo ciudadano, las nuevas prácticas de gestión de los RSD basadas en la prevención, recogida selectiva en origen, reciclaje de la fracción orgánica fermentable y reciclaje de gran parte del resto de los materiales³⁰.

1.4.2.4 Los sistemas para el aprovechamiento integral de los RSD.

A comienzo de la década de los ochenta comienzan las primeras recogidas selectivas municipales en origen de papel, cartón y vidrio en algunas ciudades del Perú pero principalmente en la capital Lima. En el Perú no hay un verdadero plan estratégico acerca del reciclaje de material sólido y las municipalidades que no han desarrollado un plan sobre este tema; recién a finales de la década de los 90 que aparecieron algunas municipalidades como Surco, San Isidro, San Borja que comienzan a desarrollar un plan que consiste en desarrollar una cultura ciudadana con respecto a la basura al manejo y gestión en si. Estos programas se viene desarrollando lentamente cuya finalidad es la demostración de la viabilidad de una nueva forma de gestionar los residuos que sabe establecer objetivos ambientales prioritarios propios de nuestras necesidades ecológicas dando prioridad al aprovechamiento de la materia orgánica siendo además capaz de integrar los sistemas tradicionales de recuperación y reciclaje de los RSD dentro de una estrategia amplia y avanzada de recogida selectiva basada en la educación y participación ciudadana.

³⁰ Tratamiento de los residuos sólidos urbanos; Alfonso del Val
<http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a014.html>

CAPITULO II

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS DISTRITOS DE LIMA METROPOLITANA.

La problemática de los residuos sólidos en el Perú no sólo comprende el déficit en su atención, sino, esencialmente, la marginación de los pobres, quiénes son los que padecen más agudamente la inexistencia o la deficiencia de los servicios correspondientes. En consecuencia, puede afirmarse que el problema de los residuos sólidos es básicamente de los pobres, aun cuando los sectores pudientes participan en su generación.

En general, son varias las causas que originan la inadecuada gestión de los residuos sólidos, entre las más importantes tenemos:

- El crecimiento urbano acelerado, que desborda la capacidad del Estado (municipios, en este caso) para atender las progresivas demandas de servicios de la población.
- La mayor cantidad de residuos generados cada día.
- Las crisis económicas de los países y la reducción del gasto público, reducción que afecta con particular fuerza los presupuestos municipales.

- La dificultad estructural de los municipios para prestar éste y otros servicios adecuadamente, que se origina en la obsolescencia de los sistemas políticos que les dan soporte.
- Los generalmente elevados costos de los servicios respectivos, a los que se agrega la inexistencia de sistemas adecuados de recaudación.
- La actitud desaprensiva de la población frente al problema, a lo que se suma la falta de educación sanitaria y de participación.

En este conjunto de causas de la problemática destaca de manera especial aquella que se refiere a la dificultad estructural de los municipios y al obsoleto sistema político que les da soporte. En el Perú los municipios han padecido históricamente la marginación y hasta el maltrato de los "todopoderosos" gobiernos centrales, los mismos que para no ver afectada su "autoridad" han ido despojándolos de sus verdaderas funciones de gobiernos locales, para llevarlos exclusivamente al terreno de administradores de unos pocos servicios urbanos. Por esto, los municipios peruanos se mueven entre el corsé de engorrosas legislaciones y la camisa de fuerza de presupuestos pocos reales, que a veces ni siquiera les permite cubrir las remuneraciones de su personal. A todo esto se agregan los sistemas políticos que les dan soporte, los mismos que permiten el clientelismo y la corrupción.

De otra parte, y dado que el interés principal de los alcaldes suele no coincidir con el interés público, a menudo ocurre que el interés por los residuos sólidos sólo se manifiesta durante las campañas electorales. Después de éstas, una vez al frente de los municipios, los alcaldes y demás autoridades ediles difícilmente mantienen su interés en el tema, por un elemental cálculo político: lo que permite ganar votos son las obras ("que quedan y son visibles"), no los servicios de aseo urbano.

Frente a esta situación, en los últimos quince años, se han ensayado en el Perú una serie de "soluciones" para resolver el problema; sin embargo, es poco lo avanzado a pesar de las grandes inversiones realizadas. Por esto, importantes sectores de la población

latinoamericana, particularmente pobres, han entendido que una alternativa efectiva es su propia participación activa y decidida en la solución del problema.

Actualmente la población de Lima Metropolitana es de más de 8,0 millones de habitantes, siendo la generación aparente Per. Cápita (PPC) de desechos sólidos en Lima Metropolitana de: 0,697 Kg./Hab./día³¹. Lo que resulta en una Generación total aprox. de desechos sólidos en Lima Metropolitana de 4.951 toneladas/día. Como sabemos Lima Metropolitana tiene 43 Autoridades Municipales Distritales “Autónomas” para el manejo de los Residuos Sólidos³²

La PPC o generación Per. cápita de desechos sólidos urbanos varía de un Distrito a otro, dependiendo de las condiciones sociales, económicas y de desarrollo relativo de cada uno. Se dispone de evidencias respecto de dicha variación, en Villa El Salvador es desde 0.35 Kg./Hab./Día, mientras que en Lima Cercado es de 1.05 Kg./Hab./día. Es decir, 5 veces mayor, y si se compara sólo con desechos ordinarios, en las municipalidades de San Isidro y Miraflores la PPC puede llegar hasta 0.9 y 1.1 Kg./Hab./día³³.

En cada una de las 43 Municipalidades la prestación de bs servicios de recolección de los desechos se realiza de manera diferente con resultados y eficiencias que dependen principalmente de:

- La voluntad política de las autoridades.
- La capacidad técnica y administrativa de cada municipio.
- La capacidad financiera disponible.

Como resultado se tiene que en:

- Lima solo se recolectan unas 3.901 Ton/Día (78,8%)
- 416 Ton/Día (8,4%) son recolectadas por segregadores o recolectores informales.
- 634 Ton/Día (12,8%) no son recolectadas

³¹ Alternativa Estudio de los Residuos Sólidos en el Cono Norte de Lima.

³² La Gestión Ambiental de los Residuos Sólidos Urbanos, Tendencias y Perspectivas en Lima Metropolitana; Ricardo E Giesecke; Jefe de Proyectos CTT-PUC, Febrero 2003

³³ Estudio de Gestión Urbana; Centro de Desarrollo y Gestión Tecnológica de la Pontificia Universidad Católica “CTT – PUC”; Mayo 2002 a Enero 2003.

Las 634 TPD no recolectadas corresponden a los desechos producidos por unos 1'640,000 habitantes, es decir, casi 1/4 de la población total de Lima Metropolitana que vive en áreas periurbanas de menores ingresos relativos, lo que implica un aumento del riesgo para la salud de las personas y el deterioro del ambiente.³⁴

3. Situación demográfica de la ciudad de Lima.

Según el IX Censo de Población y IV Censo de Vivienda de 1993, los Indicadores Demográficos y Socioeconómicos para el Perú y Lima Metropolitana, son los siguientes³⁵:

- La superficie total del territorio peruano es de 1.285.215,6 km² y una densidad poblacional de 17,6 hab. /km². Lima Metropolitana tiene una superficie de 2.811,65 km² y una densidad poblacional de 2.288,5 hab. /km².
- La población total en Lima para 1993 fue de 6.500.000 habitantes de los cuales 99,6% es población urbana y 0,4% población rural; la población masculina representa el 48,9% y la femenina el 51,1%. Se estima que la población de Lima Metropolitana para el presente año bordee los 8.000.000 de habitantes.
- La tasa de crecimiento anual del Perú es 2,0% y en Lima Metropolitana es 2,4%. El tiempo de duplicación de la población en el Perú es de 35 años, mientras que en Lima es de 29 años. La edad media en el Perú es 21 años, mientras que en Lima Metropolitana es 24 años.

³⁴ TERCER CURSO DE GESTION URBANA PARA LATINOAMÉRICA; del 9 al 19 de febrero de 2003 Lima – Perú.

³⁵ Según el Censo Nacional del año 1993 realizado por el INEI

Tabla Nº 2.0 Proporción de la población de Lima Metropolitana respecto a la Población total del País.

Años	Población Total		Lima Metropolitana Respecto al País (%)
	Perú	Lima Metropolitana	
1940	7.023.11	661.568	9.4
1961	10.420.357	1.901.927	18.3
1972	14.121.564	3.418.452	24.2
1981	17.762.231	4.835.793	27.2
1993	22.639.443	5'780,571	25.53

Fuente: INEI -Censos nacionales de 1940, 1961, 1972, 1981 y 1993.

2.1 Procedimientos empleados para la obtención de las proyecciones revisadas de la población por distritos según el INEI.

Al disponer de nuevas proyecciones de población total del país, se procedió a la revisión de las proyecciones distritales, cuya última revisión se realizó en 1998.

Para las proyecciones desagregadas en áreas intermedias (departamentos) y áreas menores (provincias y distritos), se ha considerado como información básica la población total de los censos de población 1981 y 1993 y las variables sintomáticas:

- Matricula del año escolar
- Inscritos en el RENIEC del año 2001
- Numero de viviendas del Pre Censo 1999-2000
- En el caso de las proyecciones departamentales, además se incluyeron los datos obtenidos por la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES 2000)

Se realizo varios ejercicios previos a la proyección, tales como:

- Proyectar con las tasas de crecimiento intercensal 1972-1981, 1981-1993, y Censo 1993-ENDES 2000.

- Proyectar las estructuras departamentales según los Censos 1972, 1981 y 1993 con el Método de Gregory Newton.

Cuando se analizaron los resultados hallados previamente, se detectaron inconsistencias tales como, poblaciones que aumentan o disminuyen rápidamente, y/o distorsiones en las tendencias de las nuevas tasas de crecimiento recalculadas con dichos resultados.

Finalmente el procedimiento que se utilizó fue una combinación de proyecciones de tasas de crecimiento, la fijación de una población límite al año 2025, y la interpolación lineal entre los años 2000 y 2025, además se considero en el caso de poblaciones con tendencia decreciente, que el número de personas estimadas para el 2025 no debería ser inferior a la población mayor que hubiera registrado en alguno de los Censos del pasado, salvo algunas excepciones.

Metodología Aplicada

Previamente a la interpolación de la población, para el año 2000 se analiza la tendencia de la estructura porcentual dentro del país en el caso de departamentos, dentro del departamento en el caso de provincias y dentro de la provincia en el caso de distritos. La estructura porcentual definida es robusta porque fueron en su mayoría corroboradas por las variables sintomáticas utilizadas en este trabajo, y que al ser comparadas con los dadas por los Censos 1981 y 1993, se observa que su tendencia es difícil de revertirse, salvo algunas excepciones, es decir, o bien aumentan o bien disminuyen en cierta proporción.

Una vez que se obtiene la población y estimada y proyectada para los años quinquenales entre 1990 y el 2025, se procede a graficar las tasas de crecimiento y la población, el análisis correspondiente de éstas, permitió hacer ajustes para corregir o suavizar las tendencias, sea en el porcentaje fijado para el año 2000 o en la población pivote final del año 2025.

Para la proyección de la población por años quinquenales se aplico el método matemático de Interpolación Lineal, el cual supone que en cada periodo la población aumenta o disminuye en un número similar de personas expresándose como sigue:

$$P(t) = (P(O) + (P(f) - P(O)) / (t(f) - t(O)) \times (t - t(O)))$$

Donde:

P (t) = es la población en el momento "t"

P(O) = es la población en el momento "O"

P (f) = es la población en el momento "f"

T = es el tiempo calculado

T (f) = tiempo correspondiente a P (f) O

T(O) = tiempo correspondiente a P (f) O

Para el calculo de las tasas de crecimiento se aplico la función del cambio geométrico, el cual supone que la población aumenta o disminuye a una tasa constante, es decir que se presenta cambios similares en cada periodo de tiempo, aunque en números absolutos las personas aumentan o disminuyen en forma creciente³⁶. Esta función se expresa como sigue:

$$P(t) = P(O) \times (1 + r)^t$$

Despejando:

$$\frac{P(t)}{P(O)} = (1 + r)^t \rightarrow \sqrt[t]{\frac{P(t)}{P(O)}} = \sqrt[t]{(1 + r)^t}$$

$$1 + r = \sqrt[t]{\frac{P(t)}{P(O)}} \rightarrow r = \sqrt[t]{\frac{P(t)}{P(O)}} - 1$$

y que al ser multiplicada por 100 se expresa como tasa de crecimiento por cien habitantes

³⁶ Según los métodos empleados por el INEI para la elaboración de sus cálculos.

Donde:

$P(t)$ = es la población en el momento "t"

$P(O)$ = es la población en el momento "O"

r = es la tasa de crecimiento

t = es el periodo de tiempo.

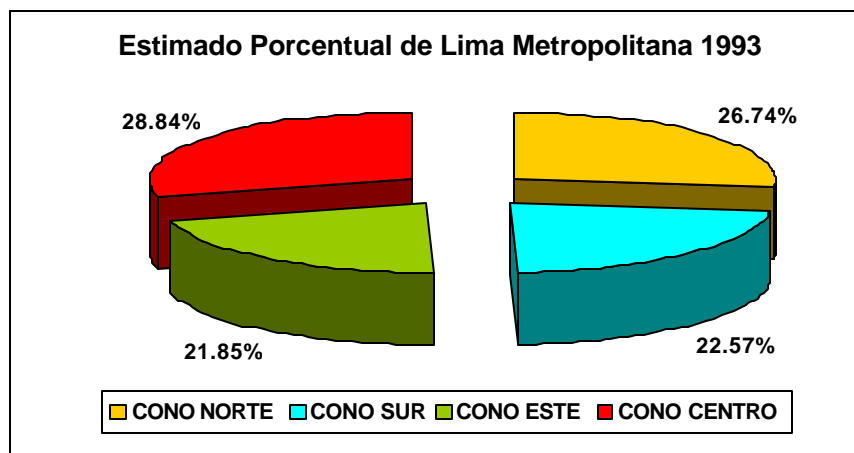
Tabla N° 2.1 Estimado porcentual de Población de Lima Metropolitana según Conos años 1993 y 2004³⁷.

ZONA	Población según Año	
	1993*	2004**
CONO NORTE	1'545,612	2,050,265
CONO SUR	1'304,764	1,718,324
CONO ESTE	1'262,878	1,672,582
CONO CENTRO	1'667,317	1,755,346
TOTAL	5'780,571	7,196,517

*Estimaciones tomadas del INEI.

** Estimaciones elaboradas por el autor.

GRAFICO N° 2.0 Estimado porcentual de Población de Lima Metropolitana según Conos años 1993³⁸.



³⁷ Fuente: INEI. Censo poblacional 1993 Estimación considerando una tasa de crecimiento poblacional del 2.2% anual, en función a los datos del censo de 1993

³⁸ Proyecciones realizadas por el INEI en base a los parámetros de índice de crecimiento poblacional

GRAFICO Nº 2.1 Estimado porcentual de Población de Lima Metropolitana según Conos años 2004³⁹.

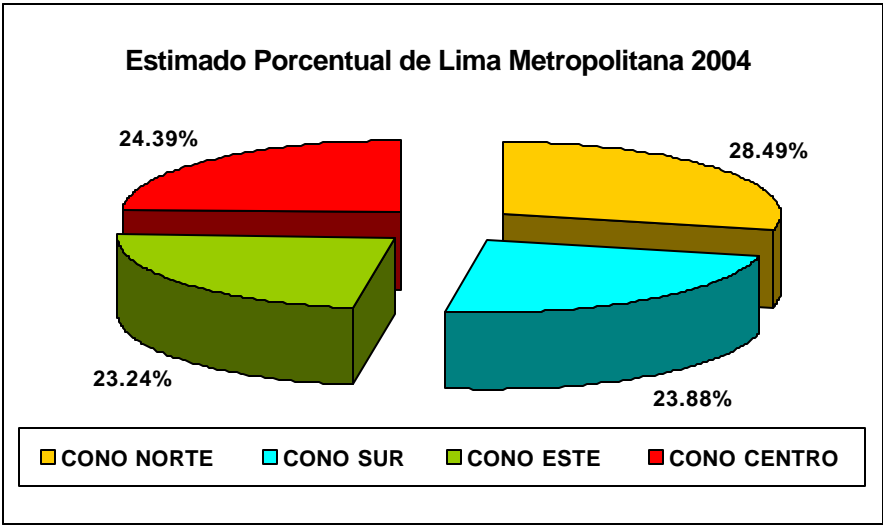
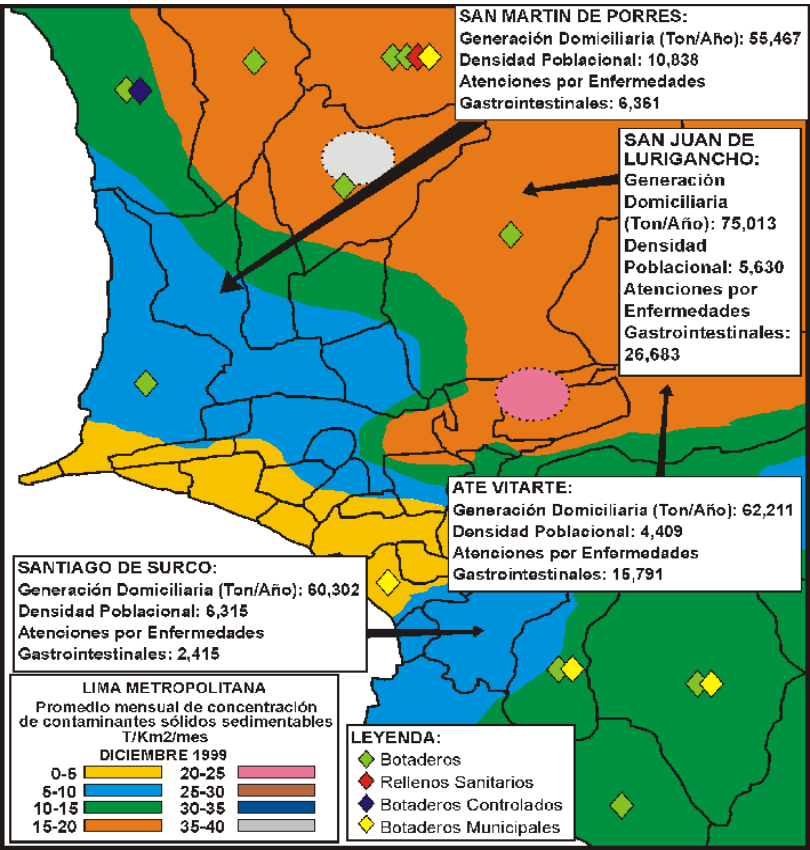


GRAFICO Nº 2.2 Distritos con mayor generación de residuos sólidos y distritos con receptores de residuos.



³⁹ Proyecciones realizadas por el autor en base a los parámetros de índice de crecimiento poblacional dados por el INEI

FIGURA N° 2.0 Servicio de Recolección informal en Lima Cercado



FIGURA N° 2.1 Servicio de Recolección formal en Lima Cercado prestado por una empresa privada especializada.



FIGURA Nº 2.2 Segregadores informales recuperando o reciclando papel y cartón en diversas calles de Lima Metropolitana.



2.2 Estratificación Socio-Económica de los Distritos.

La tasa de analfabetismo a nivel nacional es de 12,8%, habiendo un analfabetismo mayor en mujeres (18,3%) que en hombres (7,1%). La tasa de analfabetismo en Lima es de 3,6%; el analfabetismo en mujeres (5,4%) es también mayor en Lima frente a los hombres (1,7%).

El nivel educativo en años de estudios en el Perú es de 7,7 años y en Lima Metropolitana es de 10 años. La Población Económicamente Activa (PEA) en el Perú es de 7.109.527, siendo la tasa de actividad de 51,2%. En Lima Metropolitana la PEA es de 2.394.113 y la tasa de actividad es de 53,7 %. La tasa de desocupación a nivel nacional es de 7,1% y a nivel de Lima Metropolitana es de 8,0%.

La esperanza de vida en el país aumentó de 53,6 a 66,3 años entre 1970 y 1993, y la proyección del INEI para el periodo de 1995 al 2000 es de 68,3 años. La proyección del INEI para el año 2010 es de 70,5 años, y para el periodo de 2020 a 2025 es de 74,5 años.

En cuanto al Índice de Desarrollo Humano (IDH) el cual es una medición elaborada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el cual se basa en un índice estadístico compuesto por tres parámetros: una vida larga y saludable medido según la esperanza de vida al nacer; la educación, medida por la tasa de alfabetización de adultos y la tasa bruta de combinada de matriculación en educación primaria, secundaria y superior; nivel de vida digno, medido por el PIB Per. Capita (PIB en USD), según el Informe de Desarrollo Humano del Programa de las Naciones Unidas, PNUD, 1999, el Perú ocupa el 80º lugar entre 174 países, y figura en la categoría de desarrollo humano medio (0,500 a 0,799, de una escala con valor máximo de 1, en el mismo periodo el PIB pasó de 849 a 1.112⁴⁰)

Los promedios del ingreso familiar mensual (en soles) son los siguientes: Lima norte: 1,220; Lima sur: 1,040; Lima este: 1,110; Lima tradicional: 2,180; y Callao: 1,260⁴¹

Como la generación de los residuos sólidos, y sus características físicas varían en función de los niveles socio-económicos de los generadores, es necesario diferenciar en el distrito estratos representativos con características específicas.

2.2.1 Política de manejo de residuos sólidos en las municipalidades distritales en lima metropolitana.

El aspecto de la gestión de los residuos sólidos se encuadra en el marco general de la política estatal peruana, donde destaca el proceso de reforma estructural que vive el estado desde inicios de la década de los noventa.

Dicho proceso gubernamental esta siendo caracterizando por la

⁴⁰ CEPIS. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial: Estudio Complementario del Caso Villa El Salvador, Lima– Perú. 2002.

⁴¹ <http://www.businessperu.com.pe/2003/Junio/INFORMES/INFO1>

liberación de la economía, la simplificación en la administración pública y la privatización de bienes y servicios tradicionalmente estatales.

Sin embargo, el contexto en el que se desenvuelve la gestión de los residuos sólidos es eminentemente municipal. La Ley Orgánica de Municipalidades Ley N° 23853 y el Decreto Supremo N° 007-85-VC reglamento del mencionado dispositivo en materia de acondicionamiento territorial, desarrollo urbano y medio ambiente son normas de carácter general que establecen competencias, funciones y responsabilidades de los gobiernos locales referidos a los servicios de limpieza pública y ornato dentro de sus respectivas jurisdicciones. Asimismo, existe una normativa legal por la que se regula una serie de competencias dirigidas al Ministerio de salud⁴². No podemos negar, por otro lado, que la política ambiental y la política de economía de mercado asumido por el estado durante la última década vienen influyendo fuertemente en la gestión de residuos sólidos.

La Ley Orgánica de Municipalidades promulgada por el Congreso de la Republica del Perú (el 27 de mayo del 2003), ofrece un panorama distinto y más amplio para la Gestión Municipal en términos de los deberes que de ahora en adelante deberán cumplir dichas instituciones para trabajar mejor el desarrollo de sus localidades. Una de esas funciones esta referida a la Gestión Integral de Residuos Sólidos (**GIRS**), aspecto que involucra un conjunto de acciones normativas, financieras y de planeamiento que se pueden aplicar a todas las etapas de manejo de dichos residuos (generación, reducción en la fuente, aprovechamiento, tratamiento y disposición final), basándose en criterios ambientales, sociales, de viabilidad técnica y económica.

⁴² Las principales son el D.S. N° 033-81-SA, Reglamento de Aseo Urbano y la Ley N° 17505, Código Sanitario.

Actualmente la mayoría de los distritos de Lima Metropolitana así como la mayoría de los demás distritos del Perú no cuentan con un manejo integral de los residuos sólidos o con un plan maestro a excepción de algunas municipalidades que son las pioneras en el manejo de residuos y reciclaje de estos. Al establecer una jerarquía de gestión integral de residuos sólidos, el gobierno ha proporcionado unas líneas directrices, y son pocas las municipales que han impuesto las actividades de gestión de residuos sólidos en estas comunas. En nuestro País la política de manejo de los Residuos Sólidos se basa a partir de la ley 27314 “LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS” que fue promulgada por el Congreso de la Republica y publicada en el Diario Oficial del Perú el del 21 de julio del 2000 quien a través del Titulo I “Disposiciones Generales” Capitulo III “Autoridades Municipales”, Artículo 9° “Municipalidades Provinciales” , Artículo 10° “Municipalidades Distritales” se señala la competencia que tienen las municipalidades en el tratamiento de los residuos sólidos⁴³.

2.3 Ubicación y caracterización de los residuos sólidos en los distritos del cono norte de lima metropolitana.

2.3.1 Ubicación.

Al realizar el estudio de ubicación de los RSD debemos considerar una serie de factores a tomar en cuenta, los cuales son:

2.3.1.1 Participación de la Población.

Luego de la selección de viviendas o manzanas, se hace una visita explicativa del motivo y método de muestreo a cada ama de casa. Así mismo también se puede realizar una encuesta sobre el número de habitantes en cada vivienda.

2.3.1.2 Programa de Muestreo.

⁴³ Ver anexos

El muestreo debe cubrir ocho días sucesivos y se descartara la muestra tomada el primer día de recojo, ya que la duración del almacenamiento para esa muestra no se conoce. El trabajo de campo diario, consiste en que el encargado del estudio debe entregar una bolsa plástica a cada ama de casa a cambio de la bolsa llena de basura, marcándola para su identificación. Luego se lleva todas las bolsas recolectadas a un depósito en donde se hará el pesaje, la medición del volumen y/o el análisis físico de la basura.

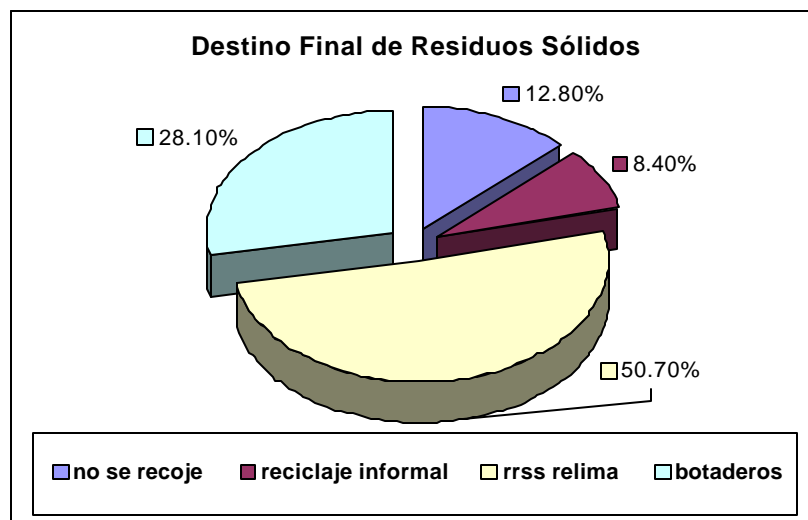
2.3.1.3 Disposición Final.

La eliminación de RSD se puede definir de forma similar a la disposición final, o destino final de un material, ya que su eliminación absoluta es prácticamente imposible. Un proceso que a simple vista podría clasificarse como eliminación, como es la incineración, por ejemplo, no es tal, sino que más bien consiste en una forma de tratamiento, ya que por medio de él no se eliminan los residuos, y sólo se modifican sus características físico- químicas, transformándolos en cenizas y escoria, con un volumen menor. La disposición final, por su parte, es el concepto más tradicional de eliminación para los residuos domiciliarios y consiste en depositar éstos en un vertedero o relleno sanitario. Un relleno sanitario es una estructura construida normalmente en la tierra, en que los residuos son depositados en celdas, provistas de capas de impermeabilización de polietileno de alta densidad; sistemas de drenaje de líquidos percolados; y sistemas de cobertura cuyo fin es evitar el ingreso de aguas lluvia a los residuos depositados, controlar la emanación de olores y gases, así como la presencia de vectores. Así mismo una vez que el residuo ha sido tratado este se encuentra listo para su disposición. La forma y tipo del residuo determina en gran parte

donde la disposición será permitida. Los residuos sólidos comúnmente son depositados en:

- Basurales
- Botaderos
- Botaderos controlados
- Vertederos
- Rellenos sanitarios
- Depósitos de seguridad.

GRAFICO N° 2.4 Disposición final de residuos sólidos en Lima



La explicación para la existencia de la gran multiplicidad de sitios informales de disposición final es:

- El desconocimiento de las regulaciones que al respecto establece la Ley 27314.
- La ausencia de una verdadera y efectiva fiscalización del cumplimiento de la Ley General de Residuos Sólidos.

Ya a finales de 1998 Aproximadamente el 50% de las 4.400 TPD (Toneladas por día) de desechos sólidos producidos en Lima Metropolitana, es decir, unas 2.150 TPD ya tenían un destino final ambientalmente adecuado en uno de los dos rellenos sanitarios oficiales, (que cumplen con todas las exigencias técnicas de la normatividad vigente en materia ambiental)

A febrero de 2003 apenas unas 1.390 toneladas diarias se depositan en los Rellenos Sanitarios oficiales, lo que representa tan solo 35,6% de las 4.951 ton/día que se generan en la Región Metropolitana de Lima.

El importante avance logrado en la disposición final de los desechos sólidos entre 1996 y 1998 se debió a la firme decisión de la autoridad municipal de contratar un operador privado para operar y mantener los rellenos sanitarios oficiales de Lima Metropolitana.

En la actualidad se tiene la capacidad de recibir en estos rellenos sanitarios el 100% de los desechos producidos en la ciudad de Lima Metropolitana.

Tabla N ° 2.2 Identificación de los lugares autorizados para la disposición final de los Residuos Sólidos.

Identificación de los lugares empleados por las Autoridades Municipales para la Disposición Final de las basuras de la MML				
RELLENOS SANITARIOS ACTIVOS	RELLENOS SANITARIOS INACTIVOS	BOTADEROS ACTIVOS	BOTADERO INACTIVO	PLANTAS DE TRANSFERENCIA ACTIVAS
1. El Zapallal 2 2. Portillo Grande 3. La Conejera 4. Ancón	5. Campoy 6. El Zapallal 1 7. Wiracocha 8. Sinchi Roca 9. Sarita Colonia 10. Las Flores 11. Laderas De Chillón 12. Huascar 13. El Sauce 14. La Vizcachera	15. Caccica 16. Pantanos De Villa 17. La Cucaracha 18. San Agustín 19. Chacra Cerro 20. Carapongo 21. San Benito "A" 22. San Benito "B" 23. Nueva Jerusalén 24. Costa Verde 25. Marbella 26. Saracoto Alto 27. Porquerizo 1 28. Oquendo 29. Tolentino	30. El Montón 31. San Juan 32. Alipio Ponce 33. Cruz De Hueso 34. Lobatón 35. Cieneguilla 36. Chuquitanta 37. Jicamarca 38. Porquerizo 2 39. Cultural Lima	40. Acho 41. Huayna Cápac 42. Municipalidad De San Isidro 43. Municipalidad De Miraflores 44. La Chira 45. Las Conchitas 46. Municipalidad De Villa El Salvador 47. Municipalidad De Carabaillo 48. Petrasol 49. Verastegui 50. Argüelles

GRAFICO Nº 2.5 Plano de localización: Sitios de destino final de los desechos sólidos en Lima Metropolitana

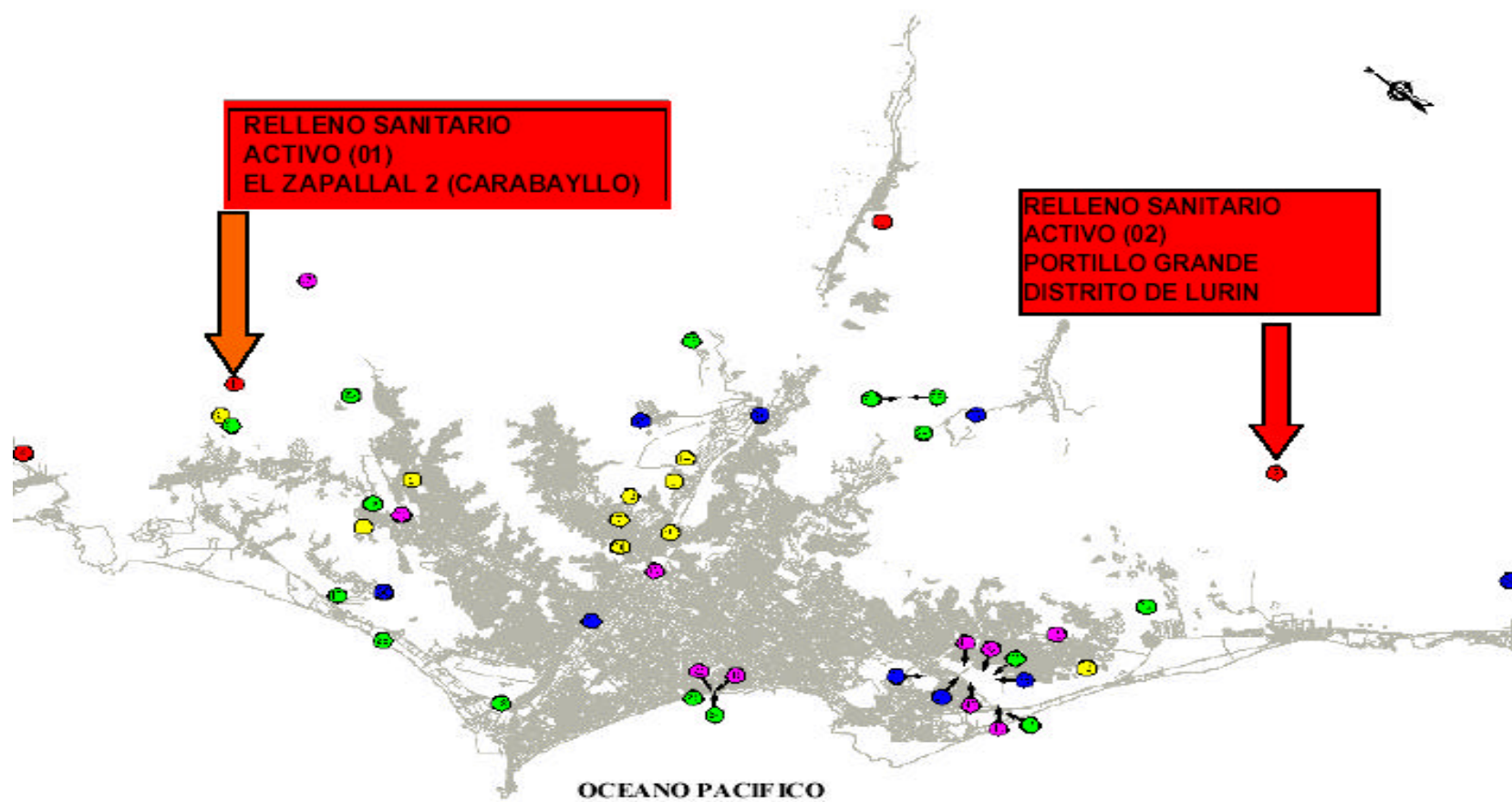
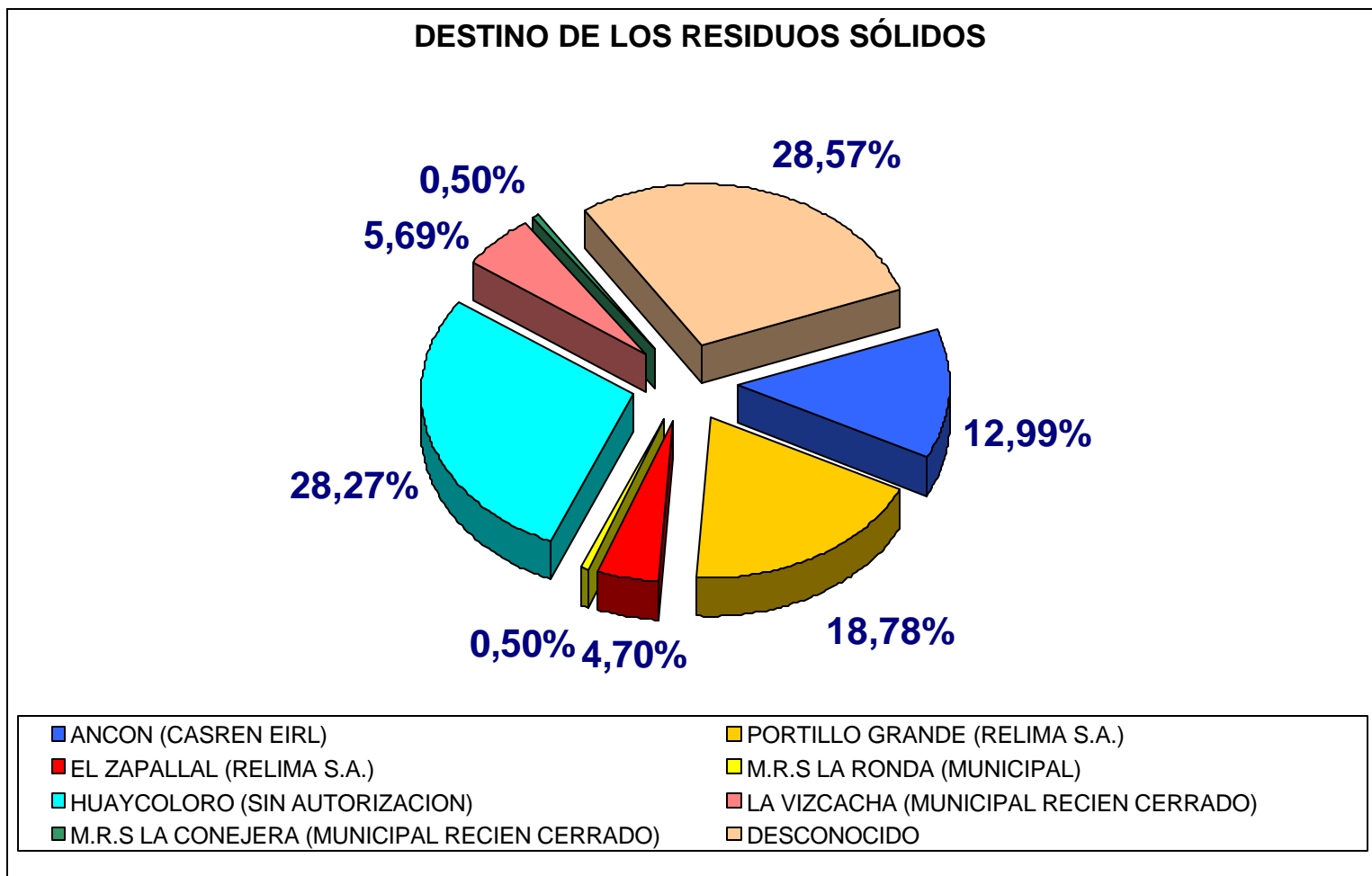


GRAFICO N° 2.6 Destino de residuos generados en lima en los años 2001 al 2002



2.4 Caracterización de Residuos.

La finalidad de un estudio de caracterización de residuos sólidos es identificar las fuentes, características y cantidades de residuos generados. Los estudios de fuentes y el número limitado de muestras de residuos sólidos que se pueden analizar. Los pasos típicos implicados en un estudio de caracterización de residuos sólidos son los siguientes:

2.4.1 Recoger información Existente

El uso de la información existente puede ahorrar dinero y tiempo y servir como referencia. Como fuentes de información existentes se puede incluir:

- Estudios y documentos anteriores de gestión y planificación de residuos sólidos.
- Archivos de compañías de recolección de residuos (públicas y privadas)
- Archivos de instalaciones de procesamiento (por ejemplo, instalaciones de compostaje, de incineración, etc)
- Archivos de vertederos e instalaciones de transferencia
- Estudio anteriores sobre evacuación de residuos
- Información de comunidades similares
- Departamento de obras publicas de las diferentes municipalidades
- Empresas de servicios públicos.
- Informes de comercio al por menor.
- Archivos completos de la comunidad.

2.4.2 Identificar fuentes de generación de residuos sólidos y las características de los residuos.

- Fuentes
- Domésticas
- Comerciales
- Instituciones
- Construcción y demolición

- Servicios Municipales
- Plantas de tratamientos de agua y aguas residuales
- Industriales
- Agrícolas

La necesidad de un análisis detallado de los componentes individuales de residuos dentro de cada categoría de residuos sólidos presentada en la tabla 2.3 dependerá de los usos que se van a hacer de los datos recolectados.

Tabla Nº 2.3 Categorías típicas de residuos sólidos que se han utilizado para estudios de caracterización de RSU.

Categorías de Residuos		Tipos de Residuos Sólidos
Domésticos y Comercial		
Residuos de comida	de	Residuos de la manipulación, preparación, cocción y consumo de comida
Papel		Periódicos viejos, papel de alta calidad (por ejemplo, oficinas, informática, etc.), revistas, papel mezclado y otro papel no utilizable (por ejemplo, impregnado de cera, papel carbono, papel térmico de fax)
Cartón		Cartón / Kraft viejo (reciclaje, contaminado)
Plásticos		PET (botellas de refrescos), PE-HD (recipientes de agua y leche y botellas para detergentes), plásticos mezclados (no seleccionados), otros plásticos (PVC, PE-LD, PP Y PS), plásticos de película.
Textiles		Ropa, trapos, etc.
Goma		Todas las clases de productos de goma, excluyendo neumáticos de vehículos motorizados
Cuero		Zapatos, abrigos, chaquetas, tapicería
Residuos de Jardín		Recortes de césped, hojas, podas de árboles y arbustos, otros materiales plantíferos.
Madera		Materiales residuales de la construcción, palets de madera
Misceláneos		Pañales desechables
Vidrio		Vidrio de recipientes (blanco ámbar, verde), vidrio plano (por ejemplo, vidrio de ventana), otros materiales de vidrio no de recipientes
Aluminio		Recipientes de bebidas, aluminios secundario (marcos de ventanas, contrapuertas, chapas y canaletas)
Metales Ferrosos		Latas de hojalata, aparatos y coches, otro hierro y acero
Residuos Especiales		
Artículos Voluminosos		Muebles, lámparas, librería, archivos, etc.

Electrodomésticos de consumo	Radios, estéreos, televisores, etc
Bienes de Línea Blanca	Aparatos grandes (cocinas, frigoríficos, lavadoras, secadoras)
Residuos de jardín recolectados separadamente	Recortes de césped, hojas, podas de árboles y arbustos
Baterías y Pilas	Domesticas (alcalinas, cinc-carbono, mercurio, plata cinc y cadmio-níquel). Vehículo motorizado (baterías ácidas de plomo)
Aceite	Aceite usado de automóviles y camiones
Institucionales	Los mismos tipos de residuos, así como los citados anteriormente bajo las categorías de domésticos y comerciales
Construcción y demolición	Suciedad; piedras; hormigones; yeso: madera; grava; y piezas de fontanería; calefacción y electricidad. Residuos de edificios derribados, calles levantadas, aceras, puentes y otras estructuras.
Servicios Municipales	
Limpieza de la calle	Suciedad, basuras, animales muertos, automóviles abandonados
Árboles y paisajismo	Recortes de césped, podas de árboles y arbustos, metales usados y tubería de plástico.
Parques y zonas de recreo	Residuos de comida, papel de periódico, cartón papel mezclado, botellas de refrescos, recipientes de leche y agua, plásticos mezclados, ropa, trapos, etc
Sumideros	Materiales residuales en general, arena, aceite residual mezclado con residuos, etc.
Rechazos de plantas de tratamiento	Fango de plantas de tratamiento de aguas residuales y aguas, cenizas de incineradoras
Industriales	Varía según región del país
Agrícolas	Varía según región del país

2.4.3 Desarrollar metodologías de muestreo.

- Identificación y caracterización de muestras incluyendo:
 - Fuente(s)
 - Tamaño de muestra (por ejemplo Kilos de residuos separados)
 - Número de muestras necesarias para relevancia estadística
- Duración del período de muestreo.
- Época del año.

2.4.4 Valoración de las desviaciones actuales de residuos.

La meta de un estudio de desviación de residuos es identificar los tipos y cantidades de materiales residuales que son separados actualmente para

el reciclaje o de otra forma desviados de la evacuación en vertederos. Los pasos normalmente involucrados en un estudio de desviación de residuos sólidos son los siguientes:

2.4.5 Recoger la información existente.

Como fuentes de información existentes se pueden incluir.

- Estudios previos de generación de residuos sólidos.
- Estudios previos de desviación de residuos sólidos.
- Programas de reciclaje.
- Instalaciones de recuperación de materiales
- Centros de recolección selectiva.
- Centros de reciclaje de neumáticos y aceite.
- Transportistas privados (residuos especiales)
- Organizaciones de caridad y servicios.

2.4.6 Desarrollar metodología para estimar las cantidades de residuos actualmente desviados.

- Domésticos
- Comerciales
- Institucionales
- Construcción y demolición
- Servicios municipales
- Plantas de tratamiento de aguas y aguas residuales
- Industrial
- Agrícola

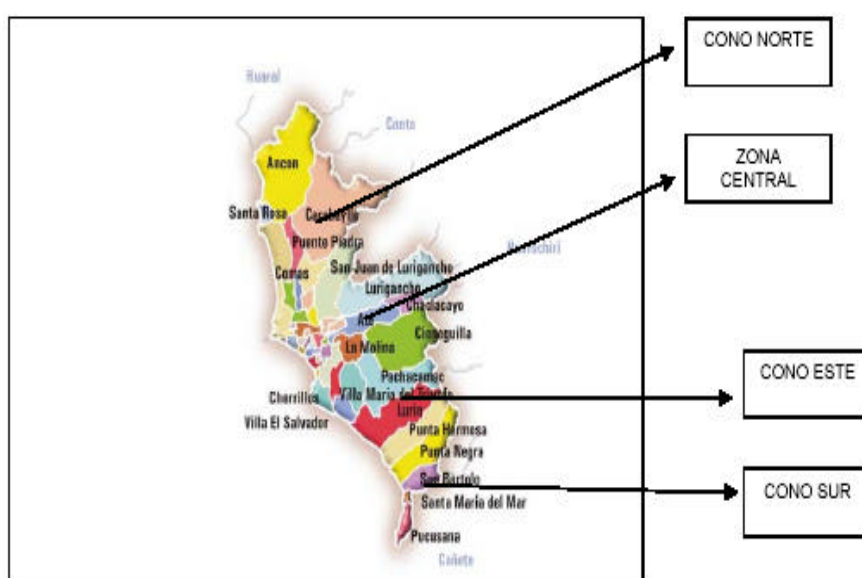
2.5 Construcción del plano de caracterización y distribución de residuos sólidos en los distritos del cono norte de lima metropolitana.

Con el objeto de tener una mayor aproximación a la problemática de residuos sólidos en Lima Metropolitana, se subdividió el área de estudio en cuatro

zonas, agrupadas de acuerdo a criterios de zonificación: Cono Norte, Cono Sur, Cono Este, Cono Centro.

Una de las áreas de planeamiento de mayor crecimiento poblacional de la ciudad de Lima es el denominado Cono Norte. Allí se genera un importante volumen de residuos sólidos. Por ello, es un área cuyo desarrollo debe ser planificado y adecuadamente gestionado.

GRAFICO Nº 2.7 PLANO DE CARACTERIZACIÓN DE LA ZONAS DE ESTUDIO EN LIMA METROPOLITANA⁴⁴



2.5.1 Caracterización del Cono Norte.

Como la generación de los residuos sólidos, y sus características físicas varían en función de los niveles socioeconómicos de los generadores, es necesario diferenciar en el distrito estratos representativos con características específicas. Esta alta tasa de crecimiento, no sólo es originado por la migración campo-ciudad. Hay distritos que se encuentran saturados, sin áreas de expansión, tanto en Lima como en el Callao y

⁴⁴ Fuente: CNI. Portal Municipal. www.portalmunicipal.gob.pe.

miran como zona de expansión al Cono Norte, lo que está agudizando aún más los graves problemas del Cono.

- **Vivienda**

Dos de cada 10 familias no tienen viviendas. La adjudicación indiscriminada y no planificada de los terrenos eriazos puede llevar a aumentar la presión por la ocupación de los terrenos agrícolas, con graves consecuencias para toda la población.

- **Agua**

Existe escasez de agua. Sólo 2 de cada 5 familias está adecuadamente servida. La cobertura del servicio en algunas zonas está restringida a 1 ó 2 horas diarias, aún en épocas normales.

- **Red Vial**

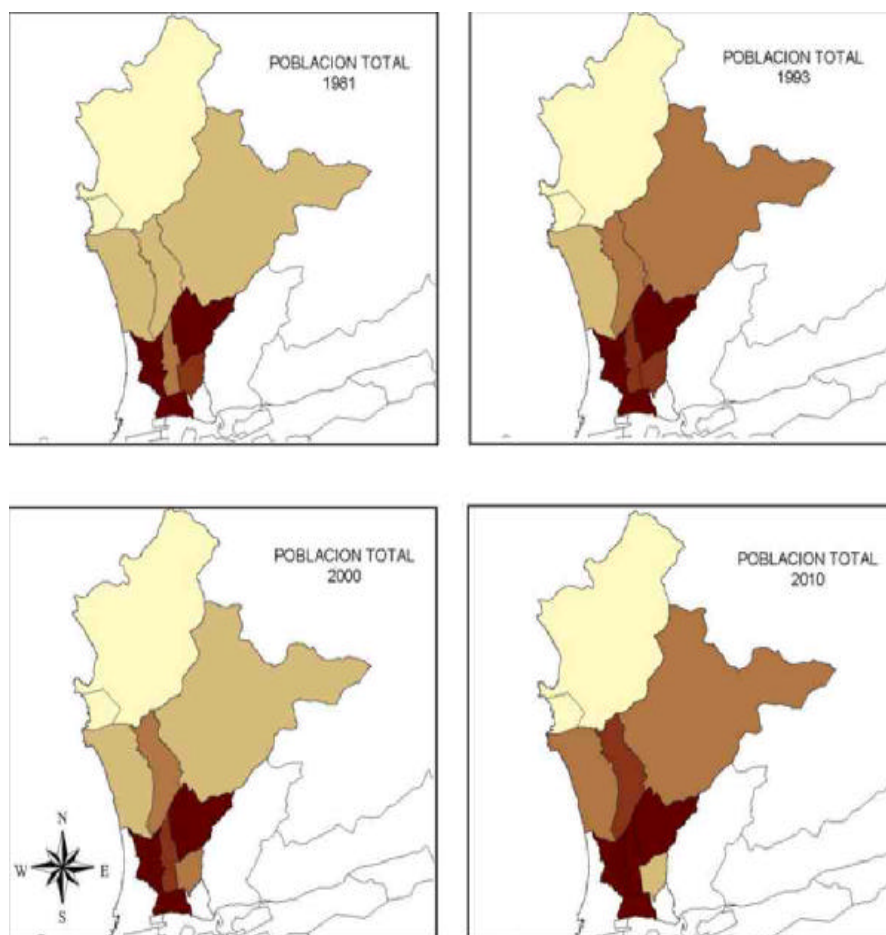
Deficiente red vial de articulación urbana, entre los distritos del cono. Falta de control de las reservas para vías, siendo objeto de invasiones para vivienda o para el sector ambulatorio. Irracionalidad en las rutas de transporte obligando a los usuarios del Cono al uso de dos o más.

- **Servicios**

Servicio de Limpieza y Saneamiento Ambiental deficiente y limitaciones de las municipalidades para atenderlo. Formación de puntos críticos de amontonamiento de basura.

La dificultad de atender, con el sistema convencional, las zonas de los cerros.

GRAFICO Nº 2.8 Crecimiento Poblacional por Distrito en el Cono Norte.



**TENDENCIA DE
CRECIMIENTO
AL 2010**



DISTRITO	Población 1981	Población 1993	Población 2001	Población 2004*
Ancón	8425	19695	29817	32400
Carabayllo	52800	106543	145734	153700
Santa Rosa	492	3903	5707	6232
Puente Piedra	33922	102808	162803	177974
Ventanilla	20186	94497	164520	175863
Comas	283079	404352	491206	502953
Los Olivos	93762	228143	296451	310415
S.M.P	311094	380384	448883	479921
Independencia	137722	183927	204685	210807

Estimaciones elaboradas por el autor.

A los problemas brevemente expuestos es necesario añadir otros que nacen o se agudizan luego de la política de ajuste de Agosto de 1,990.

- De Mayo de 1990 a Mayo de 1991, El costo de la canasta familiar se ha multiplicado.
- El Sueldo Mínimo Vital, perdió su capacidad adquisitiva en 31%.
- El 65% de la población del País percibe 1 SMV.
- Destrucción incesante de las zonas agrícolas, fuente de producción de alimentos. El Cono tiene la mayor área agrícola de Lima y puede abastecer la canasta popular del cono.
- La crisis económica agudizada en su aspecto recesivo por la política del actual gobierno, está generando el cierre de un conjunto de pequeñas y microempresas, las cuales no pueden competir en igualdad de condiciones en un mercado básicamente.
- Este hecho genera mayor crecimiento del desempleo y sub.-empleo, apareciendo en escena un número cada vez mayor de ambulantes.

FIGURA Nº 2.3 Una de forma de Recolección de basura en las zonas rurales de los distritos del cono norte de Lima.



2.5.2 Caracterización de los residuos sólidos de la Municipalidades del Cono Norte.

a. Composición

Entre diciembre de 1998 a enero del 2000, se realizó el estudio de “Generación y caracterización de los residuos sólidos domiciliarios en los distritos del Cono Norte (Lima Norte) de Lima Metropolitana cuyos resultados comparados se muestran a continuación en la Tabla N° 2.4

Tabla N° 2.4 Cuadro comparativo de Residuos Sólidos Domiciliarios⁴⁵

Composición	Cono Norte 1998*	Cono Norte 2000*
Materia orgánica	43.29%	36.45%
Plásticos	3.23%	10.84%
Papel	9.38%	10.47%
Cartón	0.98%	2.83%
Vidrio	1.20%	1.69%
Latas	2.52%	2.19%
Trapos	1.39%	3.60%
Huesos	0.53%	0.32%
Material inerte	37.60%	30.21%

De los resultados mostrados se infiere que el porcentaje en peso de los plásticos se han incrementado en la última década en un 7.61%, mientras que la materia orgánica en domicilios ha disminuido en un 6.84%, así como la materia inerte el cual también a disminuido en un 7.39%.

⁴⁵ Fuente: Alternativa 1989-2001

b. Densidad.

Por las formas de manipulación, la presencia de humedad y su composición, los residuos sólidos en nuestra ciudad presentan densidades diferentes. Se empleó métodos convencionales y se efectuó muestreos para determinar la densidad de los residuos sólidos urbanos, según su distinta fuente de generación.

A nivel domiciliario la composición de estos residuos estaba conformada mayormente por restos de alimentos, papeles, latas, cartones, etc., dando un promedio de 209.03Kg/m³ a nivel de Lima Metropolitana⁴⁶.

Tabla Nº 2.5 Cuadro de Densidad de Residuos Sólidos Domiciliarios (Kg. /m³).

Distritos	Kg./m³
Ancón	182.637
Carabaillo	173.310
Comas	194.405
Independencia	196.810
Los Olivos	189.560
Puente Piedra	196.959
SMP	189.557
Ventanilla	201.640
Promedio Cono Norte	190.609

Como se observa en la Tabla Nº 2.5, ha disminuido sustancialmente la densidad. Una de las razones de esta disminución es el incremento del consumo de plásticos tanto livianos como rígidos, dado que estos representan más volumen que peso. Este importante decremento de peso por volumen ocupado debe ser considerado para las características tecnológicas

⁴⁶ Fuente Alternativa.

de los sistemas de recolección y disposición final de los residuos sólidos.

c. Humedad.

Está presente en los residuos urbanos, y oscila alrededor del 40% en peso, con un margen que puede situarse entre el 25 y el 60%. La máxima aportación la proporcionan las fracciones orgánicas, y la mínima, los productos sintéticos. Esta característica debe tenerse en cuenta por su importancia en los procesos de compresión de residuos, producción de lixiviados, transporte, procesos de transformación, tratamientos de incineración y recuperación energética y procesos de separación de residuos en planta de reciclaje. En los RSD, la humedad tiende a unificarse y unos productos ceden humedad a otros. Esta es una de las causas de degradación de ciertos productos como el papel, que absorbe humedad de los residuos orgánicos y pierde características y valor en los procesos mecánicos de reciclaje sobre el reciclado en origen, que evita este contacto. De los cálculos realizados para determinar la humedad de los RSD de los distritos indicados, se obtuvo que presentan valores entre el 39 % al 67% donde el promedio para el Cono Norte de Lima Metropolitana es de 58%.

Tabla Nº 2.6 Cuadro comparativo de la Humedad de Residuos Sólidos Domiciliarios.⁴⁷

Distritos	Año 2000 ⁴⁸	Año 2004 ⁴⁹
Ancón	65,00%	66,00%
Carabaylo	58,73%	60,89%
Comas	55,35%	56.20%
Independencia	49,00%	60.21%
Los Olivos	57,50%	59.37%
Puente Piedra	59,50%	65.99%
SMP	57.45%	56.22%
Ventanilla	41,00%	67.38%
Promedio Cono Norte	55.40%	58.21%

d. Producción Per. Cápira.

En lima metropolitana, la generación por habitante o la producción Per. Cápira (PPC) de los residuos sólidos domiciliarios varía, dependiendo de factores socioeconómicos y de patrones de consumo, presentando una variación que va desde 0.375 Kg./hab.-día hasta 1,500 Kg./hab.-día. En el Cono Norte, se cuenta con niveles desde 0.438 Kg./hab.-día hasta 0.650 Kg./hab.-día para el año 2004.

Tabla Nº 2.7 Cuadro comparativo de la producción Per. Capita de los Residuos Sólidos Domiciliarios.

Distritos	Kg./hab./día 2000	Kg./hab./día 2004
Ancón	0,456	0,650
Carabaylo	0,430	0,457
Comas	0,484	0,585
Independencia	0,375	0,438
Los Olivos	0,581	0,625
Puente Piedra	0,445	0,510
SMP	0,581	0,610
Ventanilla	0,375	0,488
Promedio Cono Norte	0,466	0,545

⁴⁷ **Nota del autor:** De la tabla Nº 2.6 se observa la disminución del porcentaje de humedad en los distritos de Ancón, San Martín de porres y Carabaylo esto ocurre debido a la disminución de residuos orgánicos en la canasta de consumo familiar.

⁴⁸ Datos de Alternativa según el estudio desarrollado en los distritos del cono Norte de Lima.

⁴⁹ Datos desarrollados por el autor en base a proyecciones y datos tomados de Alternativa.

Tabla N° 2.8 Generación de residuos sólidos domiciliarios del Cono Norte de Lima Metropolitana.

Distrito	Población año 2000 ⁵⁰	Población Año 2004 ⁵¹	PPC 2000 Kg./hab.-día	PPC 2004 Kg./hab.-día	Generación			
					Ton/día		Ton/mes	
					2000	2004	2000	2004
Ancón	28,796.00	32,400.00	0.456	0.650	13,130.98	21,060.00	393,929.28	631,800.00
Carabayllo	142,256.00	153,700.00	0.430	0.457	61,170.08	70,240.90	1,835,102.40	2,107,227.00
Comas	484,046.00	502,953.00	0.484	0.585	234,278.26	294,227.51	7,028,347.92	8,826,825.15
Independencia	202,257.00	210,807.00	0.375	0.438	75,846.38	92,333.47	2,275,391.25	2,770,003.98
Los Olivos	291,388.00	310,415.00	0.581	0.625	169,296.43	194,009.38	5,078,892.84	5,820,281.25
Puente Piedra	157,007.00	177,974.00	0.445	0.510	69,868.12	90,766.74	2,096,043.45	2,723,002.20
SMP	438,796.00	479,921.00	0.581	0.610	254,940.48	292,751.81	7,648,214.28	8,782,554.30
Ventanilla	159,439.00	175,863.00	0.375	0.488	59,789.63	85,821.14	1,793,688.75	2,574,634.32
TOTAL CONO NORTE	1,903,985.00	2,044,033.00	0.466	0.545	938,320.34	1,141,210.94	28,149,610.17	34,236,328.20

Las Municipalidades distritales que recolectan diariamente el mayor número de toneladas métricas de basura, son: en Lima Centro, el distrito de Lima 500 TM; en el cono Sur, Chorrillos con 270 y Santiago de Surco con 250 TM; en el cono Norte, Comas con 250 TM; en el cono Este, San Juan de Lurigancho 232 TM y el distrito del Callao recoge 240 TM diarias⁵². Como se observa, en el Cono Norte se estima que la generación de los residuos sólidos municipales para el Cono Norte de Lima supera las mil toneladas por día mientras que para el mes esta cifra supera los 34 millones de toneladas; basándose en una población proyectada para el año 2004.

⁵⁰ Población generadora de residuos sólidos según el estudio de Alternativa 2001

⁵¹ Proyecciones del Autor según los parámetros de índice de crecimiento establecidos por el INEI

⁵² FUENTE: INEI - Encuesta Nacional de Municipalidades e Infraestructura Socio - Económica Distrital 2001

CAPITULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO CUALITATIVO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS DISTRITOS DE LIMA METROPOLITANA.

El conocimiento de las cantidades de residuos sólidos generadas para reciclaje y recolección para un procesamiento adicional o para su evacuación es de fundamental importancia en todos los aspectos de la gestión de residuos sólidos. Los pasos del procedimiento a seguir en este trabajo han sido complementados con los procedimientos utilizados por diferentes autores y organismos⁵³:

- Analizar la distribución de la población por estratos socio-económicos para cada uno de los distritos del estudio.
- Determinación del número de muestras de cada uno de los distritos.
- Analizar la composición Física de los residuos por estratos socio-económicos de los distritos.
- Cálculo de la producción per.-capita y la densidad para cada uno de los distritos.
- Determinar el poder energético de los RSD para cada uno de los distritos.

⁵³ CEPIS programa de residuos sólidos para América latina ; Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios del distrito de Santa Anita; Marcos Mejia Arias

- Análisis de factibilidad de los RSD como combustible en comparación con los otros tipos de combustibles.

4. Importancia de las cantidades de residuos.

El conocimiento de las cantidades de residuos sólidos generadas y recolectadas es de una vital importancia para determinar el cumplimiento del trabajo a desarrollar en la obtención energética de residuos; para seleccionar equipos mecánicos y para el diseño de itinerarios de recolección de muestras.

3.3 Medidas utilizadas para valorar las cantidades de residuos sólidos.

El propósito de esta etapa es introducir las medidas y métodos utilizados para cuantificar las cantidades de residuos sólidos; el acercamiento al balance de masa para la estimación de cantidades de residuos sólidos y las técnicas de estadísticas utilizadas para analizar las tasas de generación de residuos.

3.3.1 Medidas Utilizadas para Cuantificar las Cantidades de Residuos Sólidos.

La razón principal para medir las cantidades de residuos sólidos generadas, separadas para el reciclaje y recolectadas para su procesamiento adicional o para su evacuación, es obtener datos que se puedan utilizar para desarrollar e implementar programas efectivos de gestión energética de residuos sólidos. Por lo tanto, en cualquier estudio acerca de la gestión de residuos sólidos, se debe poner un cuidado extremo para decidir exactamente lo que es preciso conocer; para la asignación de fondos y tiempo designados en la recolección de datos. Las medidas y unidades utilizadas para cuantificar las cantidades de residuos sólidos se menciona a continuación.

a. Medidas de Volumen y Peso.

Se utilizan ambas, volumen y peso, para medir las cantidades de residuos sólidos; sin embargo, el uso del volumen como medida de cuantificación puede confundir. Por ejemplo, un metro cúbico de

residuos sólidos es una cantidad de residuos sólidos distinta a un metro cúbico de residuos que han sido compactadas en un vehículo de recolección, y cada uno de éstos es distinto de un metro cúbico de residuos que han sido adicionalmente compactados en un vertedero. De acuerdo con esto, si se van a utilizar las medidas de volumen, los volúmenes medidos deben estar relacionados con el grado de compactación de los residuos o con el peso específico de los residuos bajo sus condiciones de almacenamiento. Para evitar confusiones, las cantidades de residuos sólidos se deberían expresar en términos de peso. El peso es la única base exacta para los registros de datos, ya que los tonelajes se pueden medir directamente, independientemente del grado de compactación. Por otra parte, el volumen y el peso son de igual importancia respecto a la capacidad de los vertederos⁵⁴.

b. Expresiones para las Tasas de Generación de Residuos por Unidad.

Además de conocer los orígenes y la composición de los residuos sólidos que hay que gestionar, es igual de importante poder desarrollar significativamente formas de expresar las cantidades generadas. Se presenta en la Tabla 3.0 sugerencias acerca de las unidades de expresión, para las distintas fuentes de generación. Hay que resaltar, sin embargo que los datos de generación por unidad para las actividades comerciales e industriales son algo limitados. Por lo tanto, ha sido oportuno en muchos casos utilizar las mismas unidades para estas actividades que aquellas empleadas para los residuos domésticos, frente a unidades más racionales citadas en la Tabla 3.0. Los datos más exhaustivos sobre residuos actualmente disponibles son

⁵⁴ “Gestión Integral de Residuos Sólidos”; George Tchobanoglous, Volumen I

los que están recolectados en los depósitos o basureros municipales, vertederos otros.

Tabla Nº 3.0 Sugerencias sobre las unidades de medida para las cantidades de Residuos Sólidos⁵⁵.

Tipos de Residuos	Comentario
Doméstico	Por la estabilidad relativa de la producción de residuos domésticos en una determinada localización, la unidad de expresión más común utilizada para sus tasas de generación es Kg./hab.-día. Sin embargo, si la composición de los residuos varía significativamente respecto de los RSD (residuos sólidos domésticos) típicos el uso de Kg./hab.-día. Puede dar lugar a equívocos, especialmente cuando están comparando cantidades compactadas y sin compactar.
Comercial	En el pasado, las tasas de generación de residuos comerciales también se expresaban en Kg./hab.-día. Aunque se ha continuado esta práctica, proporciona poca información útil sobre la naturaleza de la generación de residuos sólidos en las fuentes comerciales. Una aproximación más significativa consistiría en relacionar las cantidades generadas con el número de clientes, el valor en dólares de las ventas o alguna unidad similar. El uso de tales factores permitiría establecer comparaciones a lo largo del país.
Industrial	Idealmente, los residuos generados por las actividades industriales deberían expresarse en base alguna medida repetitiva de producción, tal como kilogramos por automóvil para una planta de empaquetamiento. Cuando se desarrollen tales datos, será posible establecer comparaciones entre actividades industriales similares a lo largo del País.
Agrícola	Cuando se han elaborado archivos adecuados, los residuos sólidos procedentes de actividades agrícolas, frecuentemente, se han expresado en términos de alguna medida repetitiva de producción, tales como Kg. de estiércol / peso de res día y Kg. de residuo / tonelada de producto bruto. Actualmente, existen datos sobre las cantidades de residuos generadas en algunas actividades agrícolas asociadas a un determinado tipo de cultivo. ⁵⁶

3.3.2 Generalización para la Toma de Muestras.

⁵⁵ "Gestión Integral de Residuos Sólidos" ; Tchobanoglous George, Vol. I

⁵⁶ Herrera, T. A Lang, R y Tchobanoglous G; A Study of the Emissions OF volatile Organic Compounds Found in Landfills, Chelsea, MI, 1989

A fin de representar la problemática de residuos sólidos en Lima Metropolitana, se procedió a trabajar el muestreo estratificado representativo de la población de distritos que conforman el cono norte de Lima Metropolitana, bajo criterios de zonificación⁵⁷.

Marco Poblacional

Agrupado por todas las Municipalidades de Lima Metropolitana, de acuerdo a los distritos que conforman el Cono Norte. Los procesos de urbanización y modernización de Lima Metropolitana se explican en relación a los cambios demográficos que experimentó el país desde mediados del siglo veinte, los cuales generaron nuevos contingentes poblacionales convertidos en actores sociales sobre todo en el lapso del primer gobierno de Belaunde (1963-1968) y del régimen militar (1968-1980), cambiando la fisonomía de la capital y desbordando la capacidad estatal, con nuevas formas organizativas.

Figura Nº 3.1 Crecimiento de la zona Comercial del Cono Norte



⁵⁷ **Nota del autor** La zonificación, si bien es un criterio básico de análisis, permite identificar la problemática en términos macro. Si bien la caracterización de los residuos varía de acuerdo al estrato socioeconómico, finalmente en la labor de recolección se reúnen todos los residuos sin considerar el origen exacto de donde provino. A partir de entonces el volumen y la caracterización general de estos residuos cobra mayor importancia, pues se pueden identificar necesidades insatisfechas en el tema de recolección, transporte, destino final y aprovechamiento.

Fuente: INEI 2003

Población (N)

El número total de distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana fue agrupado en los distritos más importantes según criterios de mayor generación de RRSS, dichos sectores concentran la mayor cantidad de la población de Lima Metropolitana y la tendencia apunta claramente a su consolidación y crecimiento. La realidad es que, a inicios del siglo XXI, se puede afirmar que los conos de Lima no son más los conos de la ciudad, son Lima. En el Cono Norte se encuentran las siguientes Municipalidades distritales Ancón, Comas, Carabaylo, Independencia, Los Olivos, Puente Piedra, San Martín de Porras, Santa Rosa, Ventanilla⁵⁸.

3.4 Métodos utilizados para estimar las cantidades de residuos.

Las cantidades de residuos normalmente se estiman basándose en datos recolectados durante el transcurso de un estudio de caracterización de residuos, utilizando datos previos sobre la generación de residuos, o alguna combinación de los dos cálculos. Los métodos comúnmente utilizados para valorar las cantidades de residuos sólidos son:

- Análisis del Número de Cargas.

En este método, el número de cargas individuales y las correspondientes características de los residuos (tipos de residuos, volumen estimado) se anotan durante un período de tiempo específico de peso. Las tasas de generación por unidad se determinan utilizando datos de campo y, cuando sea necesario, datos publicados.

⁵⁸ The Center for enter for Migration and integration and Development Working Paper Series • Princeton University

- Análisis Peso – Volumen.

Aunque la utilización de datos detallados de peso – volumen obtenidos mediante el pesaje y la medición de cada carga proporcionara una mejor información sobre el peso específico de las diversas formas de residuos Sólidos en un lugar dado.

- Análisis Balance de Masas.

La única forma de determinar la generación y el movimiento de residuos sólidos con cierto grado de fiabilidad es llevar a cabo un análisis de balance de masas detallado para cada fuente de generación, por ejemplo una vivienda individual o una actividad comercial o industrial.

En algunos casos, el método de análisis de balance de masas será necesario para obtener los datos precisos para verificar el cumplimiento de los programas de reciclaje⁵⁹.

- Preparación de balances de masa.

Un balance de masa se prepara de la forma siguiente. Primero se define el límite de sistema alrededor de la unidad que se va a estudiar como observamos en la Figura N° 3.1. su elección correcta es importante porque, en muchas situaciones, hará posible simplificar los cálculos del balance de masas. Segundo, se identifican todas las actividades que se cruzan o se producen dentro del borde y que afectan a la generación de residuos. Tercero, se identifica la tasa de generación de residuos asociada a cada una de estas actividades. Cuarto, utilizando las relaciones matemáticas apropiadas, se determina la cantidad de residuos generados, recolectados y almacenados. El balance de masas se puede formular como sigue:

⁵⁹ “Gestión Integral de Residuos Sólidos” ;George Tchobanoglous , Vol. II

- a. Descripción de los Factores del balance de masas en el volumen de control.

Tasa de acumulación del material dentro del borde del sistema = Tasa de flujo del material hacia dentro del borde del sistema – Tasa de flujo del material hacia fuera del borde del sistema + Tasa de generación de material residual dentro del borde del sistema, en conclusión:

$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación.}$
--

- b. Representación simbólica.

$$\frac{dM}{dt} = \sum M_{en} - \sum M_{sa} + r_w \quad \dots\dots\dots 3.12$$

Donde:

dM/dt = Tasa de variación para el peso del material almacenado (acumulado) dentro de la unidad de estudio, Kg./d.

$\sum M_{en}$ = Suma de todo el material que entra en la unidad de estudio, Kg./d.

$\sum M_{sa}$ = Suma de todo el material que sale de la unidad de estudio, Kg./d.

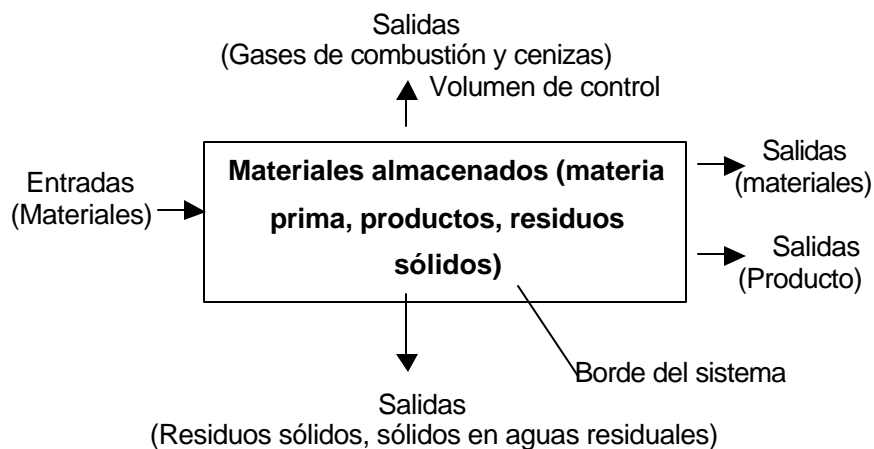
r_v = Tasa de generación de residuos, Kg./d.

T = tiempo, d.

En la práctica el aspecto más difícil de la aplicación de un balance de masa para determinar las cantidades de residuos es definir adecuadamente todas las entradas y salidas que cruzan el borde del volumen de control⁶⁰.

⁶⁰ **Nota del Autor** El presente estudio se basa en la aplicación del método desarrollado y publicado por el Dr. Kunitoshi Sakurai

FIGURA 3.1 Análisis del balance de materiales utilizados para determinar las tasas de generación de residuos sólidos



3.4.1 Niveles socioeconómicos.

A continuación, se da conceptos generales de los estratos, según el INEI, para su mejor comprensión; pero, se indica que al estrato económico bajo a su vez, se ha subdividido en dos niveles, debido a que el desarrollo urbanístico de los distritos, motivo del estudio, así lo amerita.

a. Estrato Alto.

Está constituido generalmente por urbanizaciones residenciales que poseen todo el equipamiento urbano. Sus habitantes gozan de altos ingresos y en general de niveles educativos y culturales por encima del promedio. Las viviendas cuentan con todos los servicios básicos y las edificaciones son de arquitectura más sobresalientes de la ciudad.

b. Estrato Medio.

Está constituido por urbanizaciones y está conformada en su mayor parte por grupos poblacionales de altos y medios ingresos económicos mucho mayor que el mínimo legal. Se caracteriza por tener mejor desarrollo urbanístico. Cuenta con todos los servicios básicos y con

una población bastante heterogénea, con mejores niveles económicos y culturales.

c. Estrato Bajo.

Está constituido por urbanizaciones antiguas (barrios obreros) densamente pobladas y tugurizadas, algunas cercanas a zonas industriales. En su mayor parte está formado por grupos poblacionales como empleados y técnicos, que poseen ingreso económico familiar igual o poco mayor que el sueldo mínimo legal. Las viviendas y servicios básicos están mejorados con respecto al estrato popular.

d. Estrato muy Bajo.

Está conformado por pueblos jóvenes o asentamientos humanos de viviendas improvisadas, que carecen de algunos servicios básicos. Estrato en proceso de consolidación. En general, el ingreso económico familiar es por debajo del mínimo legal.

TABLA Nº 3.1 Índice de Pobreza en Lima Norte.

CONO	POBREZA ALTA	POBREZA MEDIA ALTA	POBREZA MEDIA	POBREZA MEDIA BAJA	POBREZA BAJA
NORTE	53.85	24.32	13.73	7.04	0.70
CENTRO	25.53	18.50	18.70	25.50	9.92
ESTE	59.44	21.04	10.42	6.24	1.98
SUR	60.38	22.42	10.40	5.39	0.63

- Pobreza medida por el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (INEI, 2003). Elaboración, Paúl Peters.

3.4.2 Análisis de los residuos sólidos.

En cualquier ciudad, sea grande o pequeña, es esencial conocer la cantidad de basura a recoger y disponer sus características tales como densidad, composición, humedad y poder calorífico, con el objetivo de hallar los índices o parámetros energéticos de los residuos sólidos en el

cono norte en su disposición final. Sin embargo, los métodos estándares de análisis de residuos sólidos desarrollados en los países industrializados son bastante complicados y podrían estar fuera de alcance por la carencia de recursos físicos y humanos de las ciudades medianas y pequeñas que abundan en América Latina.

3.4.3 Determinación del Número de Muestras.

El presente estudio que a continuación se presenta fue realizado por la ONG Alternativa y nos sirve para determinar el número de muestra representativa por estrato socio-económico, el cual se partió bajo las siguientes restricciones⁶¹:

Error permisible: 25 gr./hab.-Día

Confiabilidad: 95%

Desviación estándar: 150 gr./hab.-día

APLICACIÓN DE LA ECUACION:

$$n = \frac{V^2}{\left(\frac{E^2}{1.96} \right) + \frac{V^2}{N}} \quad \text{..... 3.13}$$

Donde:

N = Número de muestras.

v = Desviación estándar de la variable Xi (Xi = PPC de la vivienda i)
(gr./hab.-día).

E = Error permisible en la estimación de PPC (g./hab./día).

N = Número total de viviendas del estrato definido.

⁶¹ Generación y Caracterización de los Residuos Sólidos del Cono Norte de Lima, Estudio Teórico Alternativa 2000

3.4.3.1 Obtención del Error Muestral de estimación o Standard E

El error muestral es una medida de la variabilidad de las estimaciones de muestras repetidas en torno al valor de la población, nos da una noción clara de hasta dónde y con qué probabilidad una estimación basada en una muestra se aleja del valor que se hubiera obtenido por medio de un censo completo. Siempre se comete un error, pero la naturaleza de la investigación nos indicará hasta qué medida podemos cometerlo (los resultados se someten a error Muestral e intervalos de confianza que varían muestra a muestra). El cálculo estadístico será más preciso en cuanto y tanto su error es más pequeño.

El porcentaje de error recomendado es de 5%, ya que nos representa mayor confiabilidad en los datos, este valor también fue utilizado en estudios de caracterización realizados en varios distritos de Lima Metropolitana, no es recomendable un mayor margen de error, ya que nos dará una muestra muy pequeña con respecto a la población, no será representativa.

3.4.3.2 Obtención del Nivel de confianza

El trabajo tomara un intervalo de confianza al 95 %, según el estudio realizado por Alternativa, lo cual significa que si el estudio es repetido los datos hallados serán 95% iguales a los obtenidos en este estudio. Este valor es el más utilizado lo cual permite usar como coeficiente de confianza, que corresponde a la abscisa de la distribución normal estándar asociada a la probabilidad centrada igual a 0.95⁶².

⁶² Alternativa Residuos Sólidos en el cono norte de lima metropolitana

3.4.4 Determinación de las Propiedades de los Residuos Sólidos.

Entre las características físicas más importantes de los RSD incluyen: peso específico, contenido de humedad, para el análisis de la producción de los residuos sólidos domésticos, se realizó lo siguiente:

- Inicialmente, se distribuyó diariamente bolsas para almacenar la basura producida durante el día, al día siguiente, se procedió a recolectar las bolsas con los residuos domésticos, entregando a la vez una bolsa adicional vacía. Se repitió este procedimiento sucesivamente durante un periodo de 7 días.
- Al mismo tiempo en la parte de observaciones, se llevó el control del recojo, y/o cualquier anotación del día.
- Para el caso del estudio, las muestras se efectuaron en el entorno a una manzana eligiendo casas al azar; llevando un control estricto del registro, así como del inmueble y/o familia a quien corresponda, pegando el stiker en cada bolsa identificando al usuario.
- Una vez concluido el ruteo de recolección de datos correspondiente, se llevó las muestras donde se desarrolló el pesaje.
- El pesaje se realizó previa identificación del código o número de cada muestra, se registró el peso, en el recuadro correspondiente.
- Luego se aplicó la fórmula para cada estrato.

$$PPC = \frac{Kg - recoletado / día}{número - de - habi tan tes} \dots\dots\dots 3.14$$

Donde:

PPC: Producción Per.- capita.

3.4.4.1 Estimación teórica de Producción Per.- Cápira (PPC).

La PPC es un parámetro que evoluciona en la medida que los elementos que la definen varían. En términos gruesos, la PPC varía de una población a otra, de acuerdo principalmente a su grado de urbanización, su densidad poblacional y su nivel de consumo o nivel socioeconómico. Otros elementos, como los periodos estacionales y las actividades predominantes también afectan la PPC.

Se toma la muestra diariamente, cubriendo ocho días sucesivos, puesto que hay una variación destacada dentro de ese plazo. Se debe descartar la muestra tomada el primer día de recojo, ya que la duración del almacenamiento para esa muestra no se conoce. Se mide el peso de la muestra usando una balanza de plataforma, se emplea la relación siguiente:

$$PPC \text{ (g/hab/día)} = \frac{(A1/B1) \times P1 + (A2/B2) \times P2 + (A3/B3) \times P3 + (A4/B4) \times P4}{P1 + P2 + P3 + P4} \quad (3.15)$$

Donde:

- P1, P2, P3 y P4 = Número de habitantes en las zonas comercial, residencial (ingreso alto), residencial (ingreso medio) y residencial (ingreso bajo), respectivamente.
- A1, A2, A3 y A4 = Peso de la muestra de una semana completa tomada de cada una de las zonas arriba mencionada (gr./semana)
- B1, B2, B3 y B4 = Número de habitantes correspondientes a la muestra tomada de cada zona arriba mencionada.

3.4.4.2 Determinación de la Densidad.

El método empleado para la determinación de la densidad por la ONG Alternativa consistió en acondicionar un cilindro de capacidad de 200 litros, luego se colocó la basura en el cilindro, rompiendo bolsas registradas y pesadas, una vez lleno, se levantó el cilindro unos 10 cm, sobre el suelo y se dejó caer tres veces, para así llenar los espacios vacíos en el mismo, luego se procedió a medir la altura libre.

El cálculo de la densidad se halló en gabinete, empleando la siguiente fórmula:

$$S = \frac{W}{V} = \frac{W}{N(D/2)^2(H-h)} \quad \dots\dots\dots 3.16$$

Donde:

S= Densidad de los residuos sólidos

W= Peso de los residuos sólidos

V= Volumen del residuo sólido.

D= Diámetro del cilindro.

H= Altura total del cilindro

h= Altura libre de residuos sólidos

N= Constante (3.1416)

En ciertos sectores económicos de la población la densidad de las basuras va descendiendo con el tiempo como consecuencia de los hábitos de consumo.

3.4.4.3 Determinación de la Composición Física.

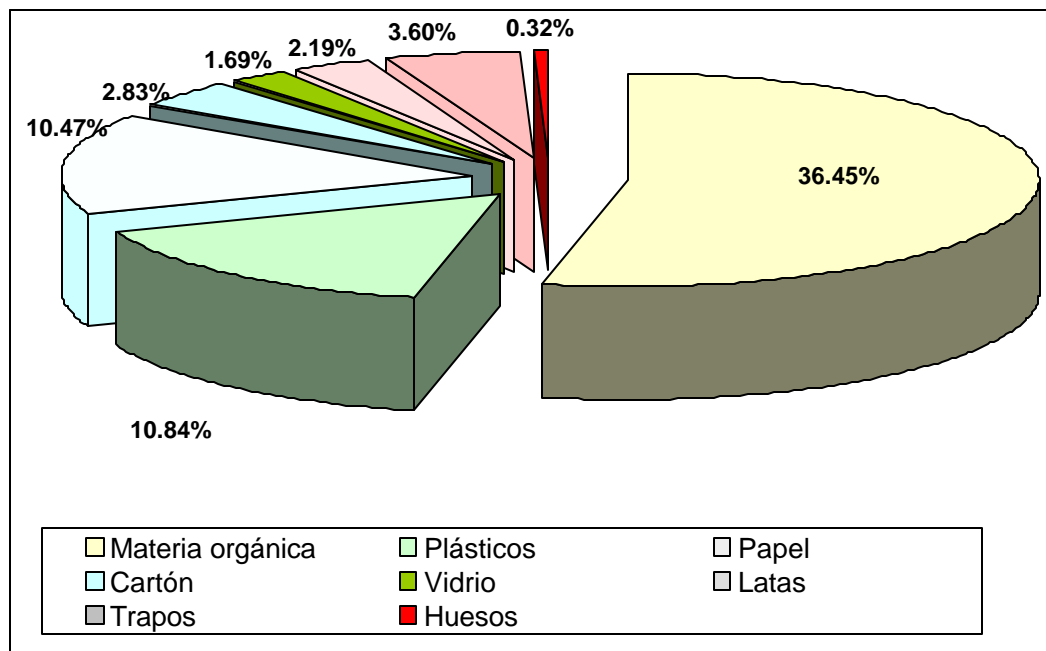
Generalmente, la cantidad, la composición y la densidad de la basura llevada al relleno son diferentes que las de la basura generada debido a la activa recuperación de materiales tales como

papeles, cartones, trapos, botellas y metales y a la compactación y esponjamiento que se realizan en el transcurso del manejo de basura.

La recuperación de algunos de estos componentes atiende a los siguientes objetivos:

- Conservación o ahorro de energía y recursos naturales.
- Disminución del volumen de basura que hay que eliminar.
- Protección del Medio Ambiente.
- Optimización de los recursos económicos.

GRAFICO N° 3.2 Composición Física de los Residuos Sólidos domiciliarios de Lima Norte 2000 (% en peso)



3.4.4.4 Peso Específico.

El peso específico se define como el peso de un material por unidad de volumen (Kg./m^3). como el peso específico de los residuos sólidos frecuentemente se refiere a residuos sueltos,

encontrados en los depósitos municipales, no compactados y compactados, etc. Los datos sobre el peso específico a menudo son necesarios para valorar la masa y el volumen total de los residuos sólidos a ser utilizados. Lamentablemente, hay poca o ninguna uniformidad en la forma de presentar los pesos específicos dentro de la información requerida para el tema. Frecuentemente no se hace ninguna distinción entre los pesos específicos de RSD compactados y no compactados. En la tabla N° 3.2 se presentan algunos pesos específicos típicos para varios residuos sólidos.

Tabla N° 3.2 Datos típicos sobre peso específico para residuos domésticos⁶³

<i>Tipos de Residuos</i>	Peso Especifico	
	Rango	Típico
Domésticos no compactados		
Residuos de comida mezclados)	131-481	291
Papel	42-131	89
Cartón	42-80	50
Plásticos	42-131	65
Textiles	42-101	65
Goma	101-202	131
Cuero	101-261	160
Residuo de jardín	59-225	101
Madera	131-320	237
Vidrio	160-481	196
Latas de hojalata	50-160	89
Aluminio	65-240	160
Otros metales	131-1151	320
Suciedad, cenizas, otros	320-1000	481
Cenizas	650-831	745
Basuras	89-181	131

3.4.4.5 Determinación de la Humedad.

El contenido de humedad de los residuos sólidos normalmente se expresa de dos formas. En el método de medición peso húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso

⁶³ Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe

del material húmedo; en el método peso seco, se expresa como un porcentaje del peso seco del material. El método peso húmedo se usa frecuentemente en el campo de la gestión de residuos sólidos. En forma de ecuación, el contenido de humedad peso húmedo se expresa de la forma siguiente:

$$M = \left(\frac{w - d}{w} \right) \times 100 \dots\dots\dots 3.17$$

Donde:

M= Contenido de humedad, porcentaje

w = Peso inicial de la muestra entregada (Kg.)

d = Peso de la muestra después de secarse (Kg.)

En la tabla N° 3.3 se expresa los datos típicos sobre el contenido de Humedad para residuos domésticos. Para la mayor parte de los RSU del cono norte de Lima Metropolitana varían del 39.73% al 67.45% según la composición de los residuos, la estación del año y las condiciones de humedad de la basura y condiciones meteorológicas, particularmente la lluvia.

Tabla N° 3.3 Datos típicos sobre el contenido de Humedad para residuos domésticos⁶⁴

<i>Tipos de Residuos</i>	Contenido de Humedad (% en peso)	
	Rango	Típico
Domésticos no compactados		
Residuos de comida mezclados)	50-80	70
Papel	4-10	6
Cartón	4-8	5
Plásticos	1-4	2
Textiles	6-15	10
Goma	1-4	2
Cuero	8-12	10

⁶⁴ Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe

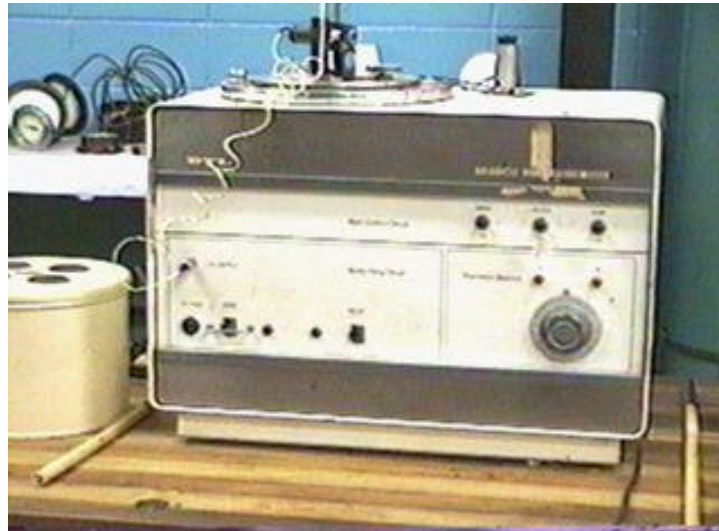
Residuo de jardín	30-80	60
Madera	15-40	20
Vidrio	1-4	2
Latas de hojalata	2-4	3
Aluminio	2-4	2
Otros metales	2-4	3
Suciedad, cenizas, otros	6-12	8
Cenizas	6-12	6
Basuras	5-20	15

3.4.4.6 Determinación del Poder Calorífico.

Se define como la cantidad de calor que puede entregar un cuerpo.

Se debe diferenciar entre poder calorífico inferior y superior. El Poder Calorífico Superior (PCS) no considera corrección por humedad y el inferior (PCI) en cambio sí. Se mide en unidades de energía por masa, [cal/gr.], [Kcal./Kg.], [BTU/lb.]. Se mide utilizando una bomba de calor o bomba calorimétrica figura N° 3.2

FIGURA N° 3.2 BOMBA CALORIMETRICA



También se puede conocer a través de un calculo teórico utilizando la formula de Doulong modificada, el cual se basa en los datos

típicos de contenido de Carbono, Hidrogeno, Azufre y Nitrógeno como se aprecia en la ecuación 3.18.

$$8.060 \times C + 33.910 \times (H - \frac{1}{8} \times O) + 2.222 \times S + 556 \times N \dots (3.18)$$

Donde

C = Carbono

H = Hidrogeno

S = Azufre

N = Nitrógeno

O = Oxigeno

El producto de los resultados de los ensayos con una bomba calorimétrica se representa en la Tabla N° 3.4.

Tabla 3.4 Valores típicos del contenido energético de los RSD domésticos⁶⁵

<i>Componentes</i>	Energía Kcal/Kg.	
	Rango	Típico
Orgánicos		
Residuos de comida	833-1.667	1.111
Papel	2.778-4.444	4.000
Cartón	3.333-4.167	3.889
Plásticos	6.667-8.889	7.778
Textiles	3.611-4.444	4.167
Goma	5.000-6.667	5.556
Cuero	3.611-4.722	4.167
Residuo de jardín	556-4.444	1.556
Madera	4.167-4.722	4.444
Inorgánicos		
Vidrio	28-56 ^a	33
Latas de hojalata	56-278 ^a	167
Aluminio	--	--
Otros metales	56-278 ^a	167
Suciedad, cenizas, otros	556-2.778	1.667

^a El contenido energético es recubrimiento, etiquetas y materiales adjuntos.

⁶⁵ Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe

3.4.5 Proceso para la obtención de energía térmica de los residuos sólidos.

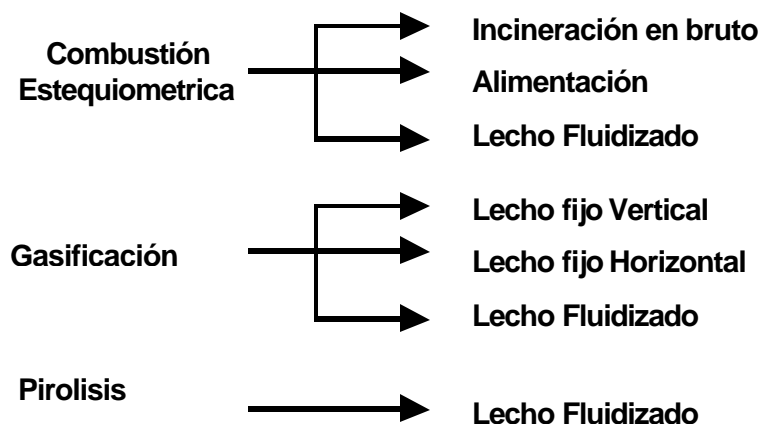
El procesamiento térmico de los residuos sólidos, utilizado para la reducción en volumen y la recuperación de energía, es un elemento importante en muchos sistemas de gestión integral de residuos sólidos. La finalidad es comprender la función del procesamiento térmico dentro de un sistema de gestión integral de residuos sólidos, es esencial para elegir el equipo mecánico y establecer normas de rendimiento. Por tanto, el enfoque se centra en los fundamentos de análisis de obtención energética y no sobre los detalles de diseño.

3.4.6 Fundamento del Procesamiento Térmico.

El procesamiento térmico de los residuos sólidos puede definirse como la conversión de los residuos sólidos en productos de conversión gaseosos, líquidos y sólidos, con la simultánea o subsiguiente emisión de energía en forma de calor. Los sistemas de procesamiento térmico pueden clasificarse en base a sus requisitos de oxígeno (Figura 3.3). La combustión con la cantidad de oxígeno exactamente necesaria para la combustión total se conoce como combustión estequiométrica. La combustión con oxígeno en exceso sobre las necesidades estequiométricas se denomina combustión con exceso de aire.

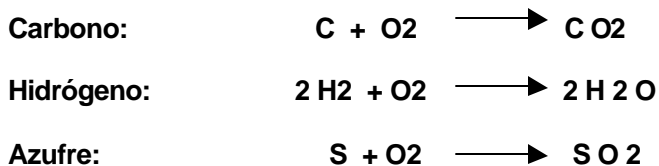
La gasificación es la combustión parcial de los residuos sólidos bajo condiciones subestequiométricas para generar un gas combustible que contiene monóxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos gaseosos. La pirolisis es el procesamiento térmico de residuos en ausencia completa de oxígeno.

FIGURA Nº 3.3 Sistema Representativos del Procesamiento Térmico



3.4.6.1 Combustión Estequiometrica.

Como ya se ha expuesto, las reacciones básicas para la combustión estequiométrica del carbono, hidrógeno y azufre en la fracción orgánica de los RSU son los siguientes:



Sabe el aire seco contiene 23.15% de oxígeno por peso, entonces la cantidad de aire requerida para la oxidación de 1 Kg. de carbono sería igual a 11.52 Kg. Las cantidades correspondientes para hidrógeno y azufre son 34,56 y 4,31kg., respectivamente. Así mismo se debe tener en cuenta que primero tiene que ser ajustada la cantidad de hidrógeno, mediante la sustracción de un octavo del porcentaje total de hidrógeno inicialmente presente en los residuos sólidos (esta sustracción tiene en cuenta el oxígeno de los residuos combinándose con el hidrógeno para formar agua)⁶⁶.

3.4.6.2 Combustión con Aire en Exceso.

⁶⁶ Gestión Integral de Residuos Sólidos George Tchobanoglous Volumen II

Por la naturaleza heterogénea de los residuos sólidos en sistemas de incineración, es casi imposible incinerar residuos sólidos con cantidades estequiométricas de aire. En la práctica, se debe utilizar oxígeno adicional para aumentar la mezcla y las turbulencias, asegurando así que el aire pueda llegar a todas partes de los residuos sólidos. El uso del aire en exceso en la incineración afecta la temperatura y a la composición de los productos de combustión (conocidos como gases de chimenea). Mientras aumenta el porcentaje de aire en exceso el contenido en oxígeno de los gases de chimenea también se incrementa y la temperatura de combustión disminuye; por lo tanto, el aire de la combustión puede usarse para controlar la temperatura de combustión. La temperatura de los gases de chimenea es importante desde el punto de vista de control de olores. Cuando las temperaturas de combustión son menores a 790° C, puede producirse la emisión de compuestos olorosos. También se ha comprobado que con temperaturas superiores a 980° C. se minimiza la emisión de dioxinas, furanos, compuestos volátiles (COV) y otros compuestos potencialmente peligrosos en los gases de chimenea⁶⁷.

3.4.6.3 Calor Generado por la Combustión

El calor emitido durante el proceso de combustión es parcialmente almacenado en los productos de combustión y parcialmente transferidos por convección, conducción y radiación a las paredes del sistema de combustión, al combustible entrante y a las cenizas, hollín, carbonillas y otros. A menudo el contenido energético de los residuos sólidos se basa en un análisis del poder calorífico de los

⁶⁷ "Gestión Integral de Residuos Sólidos"; George Tchobanoglous, Volumen II

componentes individuales de los residuos sólidos. Los cálculos de la combustión necesarios para estimar el calor disponible procedente del proceso de combustión, para su conversión en vapor y finalmente en energía eléctrica. Es posible recuperar energía de algunos procesos de eliminación de residuos. En general se pueden hacer dos grupos: procesos de combustión y procesos de pirolisis. Algunas incineradoras se aprovechan para generar vapor. En las paredes de la cámara de combustión se colocan tubos de caldera; el agua que circula por los tubos absorbe el calor generado por la combustión de los residuos y produce vapor. La pirolisis o destilación destructiva es un proceso de descomposición química de residuos sólidos mediante calor en una atmósfera con poco oxígeno. Esto genera una corriente de gas compuesta por hidrógeno, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, ceniza inerte y otros gases, según las características orgánicas del material pirolizado.

3.4.6.4 Sistemas de incineración.

La incineración puede definirse como el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión, compuestos principalmente de nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua y rechazos no combustibles (cenizas). Se puede recuperar energía mediante el intercambio del calor procedente de los gases calientes de combustión⁶⁸.

⁶⁸ “Gestión Integral de Residuos Sólidos”; George Tchobanoglous, Volumen II

3.4.6.5 Tipos de sistemas de Incineración.

Los tipos de incineración de residuos sólidos pueden diseñarse para operar con dos tipos de combustibles de residuos sólidos: residuos sólidos no seleccionados (quemados en bruto) y residuos sólidos procesados en forma de combustible derivados de residuos (CDR quemado). El tipo predominante son los sistemas de incineración en bruto.

- Sistemas de incineración de combustión en bruto.

En un sistema de incineración de quemado en bruto se da un procesamiento mínimo a los residuos antes de colocarlos en la tolva de alimentación del sistema, se debe tener en cuenta que cualquier cosa dentro del flujo de residuos sólidos puede entrar finalmente en el sistema, incluyendo objetos voluminosos demasiado grande y no combustibles e incluso residuos potencialmente peligrosos entregados al sistema a propósito o accidentalmente. Por estas razones los equipos deben de diseñarse para manipular estos residuos incómodos sin causar daños al equipo o personal operario. El contenido energético de los residuos quemados en bruto puede ser extremadamente variable, según el clima, la estación y el origen de los residuos. A pesar de estas desventajas potenciales, la incineración de quemado en bruto se ha convertido en la tecnología elegida por la mayoría de los sistemas existentes y en proyecto.

- Sistemas de incineración alimentados por CDR.

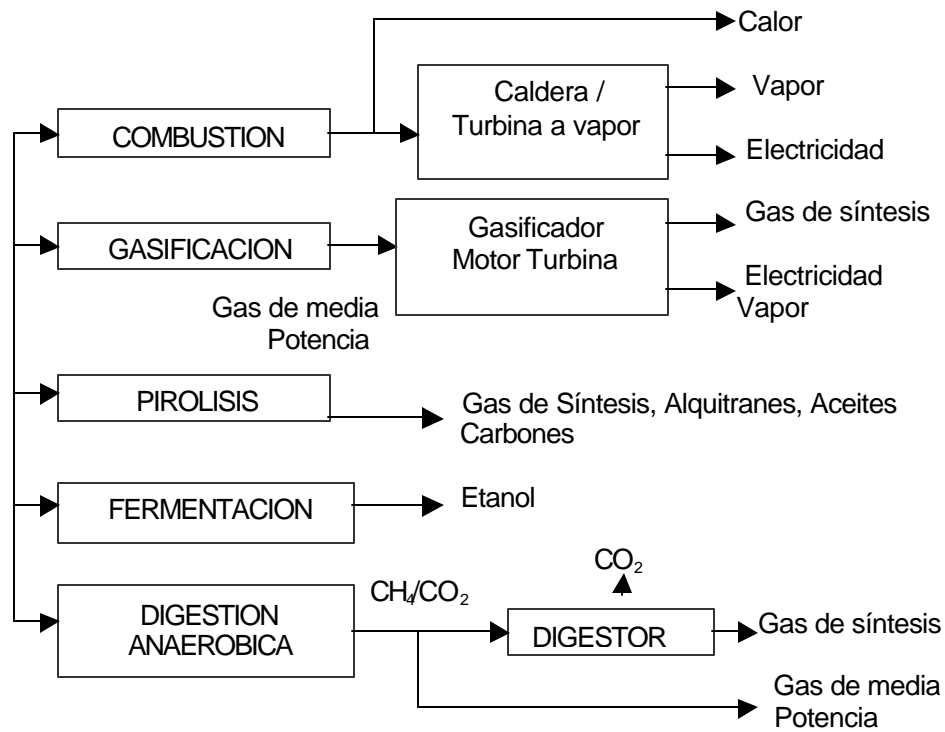
En las incineradoras alimentadas por CDR, normalmente, se quema CDR sobre una alimentadora de parrilla móvil. Por el mayor contenido energético del CDR comparado con los RSU

en bruto, los sistemas de incineración alimentados con CDR pueden ser físicamente más pequeños que los sistemas de combustión en bruto valorados comparativamente. Un sistema alimentado por CDR también puede ser controlado más eficazmente que un sistema de combustión en bruto por la naturaleza homogénea del CDR, permitiendo un mejor control de la combustión y un mejor rendimiento de los dispositivos para controlar la contaminación aérea. Además, un sistema de separación primaria correctamente diseñado puede separar porciones importantes de metales, plásticos y otros materiales que pueden contribuir a la producción de emisiones contaminantes.

- Incineración por Lecho Fluidizado.

La incineración por lecho fluidizado (ILF) es una alternativa a los sistemas convencionales de incineración. En su forma más sencilla, un sistema de ILF consiste en un cilindro vertical de acero, normalmente forrado con refractario; un lecho de arena, una placa rejilla de apoyo y toberas de inyección de aire. La acción hirviente de el lecho fluidizado provoca turbulencias y favorece la mezcla y transfiere calor al combustible, cuando se pone en funcionamiento se utiliza combustible auxiliar (gas natural o petróleo diesel) para subir la temperatura del lecho hasta la temperatura operacional (790° a 950° C). Después del arranque normalmente no hace falta combustible auxiliar; de hecho el lecho permanece caliente hasta 24 horas, lo que permite un arranque rápido con combustible auxiliar.

Esquema Nº 3.0 Procesos de Conversión de Residuos en Energía.



3.4.6.6 Combustión de los residuos sólidos.

Reutilizar esos residuos como energía renovable en las plantas incineradoras, dado su carácter continuo y su alto valor energético, es una solución que cobra peso frente a los vertederos. Las razones del auge de las incineradoras se encuentran debido a su bajo impacto medioambiental y que, tecnológicamente, los sistemas que se emplean están totalmente probados, ya que existe gran cantidad de plantas en funcionamiento desde hace décadas en Europa. El objetivo es recuperar el máximo posible de los recursos aprovechables de los desechos para reintroducirlos nuevamente en la cadena de producción como materias primas o como energía, minimizando la fracción de envío a vertederos.

Las plantas incineradoras no eliminan otros sistemas de tratamiento como el reciclaje, el compostaje, o los propios vertederos, sino que deben considerarse complementarias. Además, la cantidad de energía eléctrica o térmica que se produce mediante la incineración de los RSU no se puede desdeñar una familia media genera basura para proporcionar hasta un 20% de su consumo eléctrico.

En el terreno socioeconómico, las inversiones asociadas a estas plantas posibilitan una potenciación de la industria nacional, y buena parte de ese impulso está relacionado con el medio ambiente. El inconveniente de la incineración de los RSU es que construir una planta requiere una inversión muy importante. Además, precisa de un vertedero; no obstante, la vida útil de éste se incrementa considerablemente, y su impacto medioambiental es mínimo, ya que se trata de emisiones sólidas inertes (cenizas, hollín, carbonilla), que además pueden ser empleadas en la construcción de carreteras.

3.4.6.7 Incineradoras de residuos sólidos.

La incineración consiste en quemar los residuos en hornos especiales. Como resultado de este proceso, el volumen de basura disminuye considerablemente y se obtiene gran cantidad de calor que puede aprovecharse para calefacción urbana o para generar energía eléctrica. La incineración genera gases, fundamentalmente dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y de azufre, y cenizas volátiles, que deben controlarse mediante sistemas de lavado y filtrado para evitar la emisión de sustancias tóxicas a la atmósfera.

3.4.6.8 El Horno y la Combustión

La combustión de los residuos sólidos es un proceso complejo en el que, a los diferentes fenómenos de secado, deshidratación, gasificación, etc., se une la heterogeneidad de la alimentación. En este proceso es indispensable operar con un exceso de aire para asegurar la combustión completa y para evitar que la temperatura sea demasiado elevada ($T > 1100^{\circ}\text{C}$) y pueda ablandar y fundir las cenizas y escorias. La formación de óxidos de nitrógeno también se reduce cuando se controla la temperatura de la cámara. Para que la combustión sea completa es necesario conseguir un buen contacto entre los reactantes, es decir, entre el aire y los sólidos y que el tiempo de permanencia de cada uno de los materiales sea, en las condiciones de temperatura y presión parcial de oxígeno fijadas, superior al de la combustión completa.

Existe una gran variedad de hornos para lograr la combustión de los residuos en condiciones adecuadas. Los hornos de parrillas fijas, los de parrillas móviles, con diferentes tipos de parrillas y movimientos, los hornos rotatorios, los lechos fluidizados burbujeantes o los lechos fluidizados recirculantes son ejemplos de equipos empleados en las instalaciones industriales.

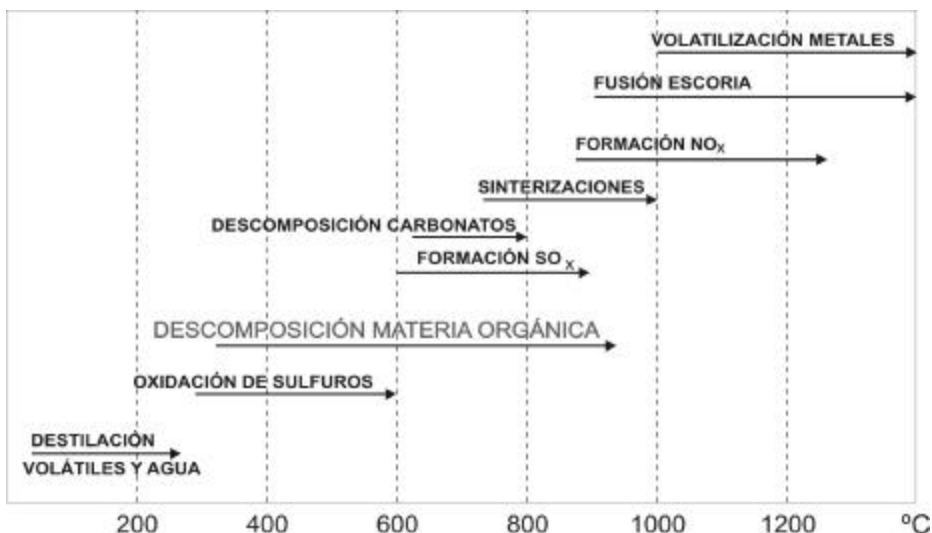
Los lechos fluidizados ofrecen las condiciones de operación apropiadas para una buena combustión. La agitación del lecho, la inercia térmica y la elevada superficie de contacto entre las partículas permiten alcanzar una aproximación razonable a la isothermicidad del lecho. La mezcla que se logra en los lechos fluidizados mejora la reactividad de los residuos ya que alcanzan rápidamente los valores de la temperatura de operación. Estas

cualidades permiten que los lechos fluidizados sean poco sensibles a las variaciones en el poder calorífico, logren una recuperación energética elevada al no requerir un gran exceso de aire, obtengan unas escorias con una fracción de elementos no quemados pequeña (<0,5%), razonablemente “duras”, permitan un buen control del proceso y fácil mantenimiento. A pesar de las desventajas que presentan frente a otras alternativas como son su mayor consumo de energía, los mayores costos de inversión o la menor capacidad ofrecen una ventaja fundamental, mejor comportamiento ambiental ya que disminuye la formación de NO_x , permite introducir cal para retener SO_2 y también desciende el nivel de CO ⁶⁹. Para asegurar la destrucción de las moléculas orgánicas complejas, que pueden salir con los gases de combustión, se someten estos gases a un proceso adicional en el cual la temperatura es superior a 850° C durante un tiempo no inferior a 2 segundos y con un contenido de oxígeno superior al 6%. Estos gases se introducen en una caldera de recuperación para producción de vapor con el que pueda obtenerse energía eléctrica por medio de una turbina.

En ocasiones se combinan con turbinas de gas para mejorar el rendimiento energético de la planta.

⁶⁹ Warmer Bulletin nº 47, Nov. 1995, pag. 23

Esquema N° 3.1 Diagrama de los fenómenos que tienen lugar en función de la temperatura⁷⁰.



Las flechas indican el rango de temperatura mínima y máxima en las que suele iniciarse y concluirse el proceso, se aprecia que la descomposición de la materia orgánica comienza desde los 220 ° C hasta los 970 ° C.

3.4.6.9 Depuración de gases

Las emisiones procedentes de una incineradora deben cumplir los límites que fijan las normas legales por lo que es preciso dotar a la instalación de una serie de técnicas capaces de destruir o retener los diferentes tipos de contaminantes. A medida que van disminuyendo los límites de las emisiones, aumenta la complejidad del proceso de depuración. Independientemente de los niveles fijados es preciso disminuir la concentración de un conjunto de contaminantes que se comentan a continuación. Los valores numéricos para cada uno de ellos corresponden a los valores representativos de una incineradora moderna, valores que son inferiores a los establecidos por la legislación.

⁷⁰ La incineración de los residuos sólidos, inertes y peligrosos ; Xavier Elías, Medellín Junio 2002

- Partículas

Forman parte de estas partículas las cenizas volantes y los finos arrastrados en el horno, los componentes condensados y los reactivos y productos de reacción formados como consecuencia de los compuestos empleados en equipos de depuración para otros contaminantes. Por ello, el método de retención depende tanto del tipo de horno como del sistema de depuración general. La propia caldera de recuperación constituye un elemento de eliminación de partículas que complementado con ciclones, precipitadores electrostáticos, filtros de mangas o filtros cerámicos limita las emisiones a valores inferiores a 10 mg/Nm^3 pudiendo alcanzarse valores entre 10 y 100 veces menores. Muchos metales pesados solo aparecen en fase sólida, Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, con lo cual sus emisiones dependerán de que se realice una adecuada separación de los materiales que los contengan y de la eficacia de la tecnología empleada para retener las partículas. Los restantes metales pesados de interés medioambiental, Cd, Hg, As, aparecen tanto en las partículas sólidas como en la fase gaseosa. Por este motivo su retención requiere el empleo de una técnica adicional.

- Monóxido de carbono y sustancias orgánicas

Los sistemas de depuración de gases no incorporan equipos específicos para destruir o retener estos contaminantes por lo que la mayor o menor concentración en los gases emitidos depende del comportamiento de la combustión. El comportamiento del horno y de la cámara de post combustión

son los que permiten que el monóxido de carbono no alcance los 50 mg/Nm³ y las sustancias orgánicas los 10 mg/Nm³.

- Gases ácidos: SO₂, HCl, HF

Los tres componentes ácidos SO₂, HCl (compuestos inorgánicos con cloro) y HF (compuestos inorgánicos con fluor) se forman en el proceso de combustión a partir de los residuos alimentados. En consecuencia, las cantidades formadas dependen directamente de la composición de los residuos incinerados. Su retención puede efectuarse de diferentes maneras. En el horno de combustión puede incorporarse carbonato cálcico y con una buena mezcla en su interior y un tiempo de residencia suficientemente elevado se logran retenciones del 90% para azufre y fluor y del 50% para el cloro. Los productos formados son sólidos que abandonan el sistema formando parte de las escorias y de las cenizas en forma de sales cálcicas. Cuando en la corriente de gases se introduce un neutralizador (normalmente cal) en forma pulverizada se dispone de un procedimiento en seco que se caracteriza por un consumo alto de reactivos y la consecución de rendimientos medios. En el procedimiento semiseco se atomiza la lechada de cal en el flujo gaseoso con lo que disminuye el consumo de reactivos y permite alcanzar buenos rendimientos. En ambos casos no existe vertido de agua. El procedimiento húmedo permite obtener rendimientos altos y bajos consumos de reactivos reteniendo incluso otros contaminantes (partículas, NO_x) pero se generan aguas de lavado que es preciso tratar antes de su vertido. La elección adecuada del proceso permite

que HCl sea inferior a 10 mg/Nm³, que HF sea menor que 2 mg/Nm³ y que el SO₂ no supere los 50 mg/Nm₃.

- Dioxinas y furanos

Las fuentes naturales de estos compuestos están relacionadas con el fuego o los procesos de combustión, como los incendios forestales, la caída de rayos o la acción volcánica y en general, cuando se produce la combustión de hidrocarburos en presencia de compuestos de cloro⁷¹. En la incineración de residuos sólidos aparecen los elementos necesarios para que sea posible la formación de dioxinas y furanos. Desde que Olie⁷² encontró niveles elevados de estos organoclorados en emisiones gaseosas y en cenizas de incineradoras y posteriormente en la leche de las vacas de las granjas cercanas a la incineradora, se considera a este proceso como la fuente más importante de generación de dioxinas y furanos. Normalmente aparecen en concentraciones tan pequeñas que su unidad de medida es el nanogramo, lo cual obliga a utilizar procedimientos de muestreo y métodos analíticos adecuados a este problema. La destrucción de estos contaminantes y también la de sus precursores se logra cuando la combustión es correcta y se mantienen la temperatura de post combustión por encima de 850° C durante más de 2 segundos con una concentración de oxígeno superior al 6%. Sin embargo, es posible encontrar estos contaminantes al final del sistema de depuración, debido a que se formen de nuevo. La síntesis de

⁷¹ Fielder, H.; O. Hutzinger y C.W. Timms. Toxicological and Environmental Chemistry, 1990, 29, pp. 157-234.

⁷² Olie, K.; P.L. Vermuelen y O. Hatzinger. Chemosphere, 1977, 8, 445-459

estas dioxinas se produce en un intervalo de temperatura comprendido entre 200° C y 400° C, cuando existe una fuente de carbono y partículas con contenido metálico, que actúan como catalizadores. Por ello es fundamental, para minimizar la formación y lograr una combustión correcta y un descenso brusco de la temperatura de 400° C a 200° C para que el tiempo durante el cual los gases se encuentran dentro de este intervalo sea lo más pequeño posible. A pesar de estas medidas debe esperarse su formación en cantidades, aunque muy pequeñas, suficientemente elevadas para que su valor sea superior a 0,1 ng/Nm³, límite para estos contaminantes. Por esta razón el sistema de depuración de gases debe incorporar un procedimiento capaz de garantizar que las emisiones cumplen el límite establecido. Frente a los procesos de destrucción de dioxinas por métodos catalíticos, catalizadores tipo SCR, las técnicas de adsorción sobre carbón activo son las que se emplean en las instalaciones industriales. El procedimiento de corriente volante que incorpora carbón activo en polvo en los gases de salida permite conseguir retenciones superiores al 90% siempre que el contacto sea suficientemente eficaz. También se retienen otros contaminantes, como los metales pesados en fase gas, pero tiene el inconveniente del consumo continuo de un material costoso que pasa a formar parte de las cenizas volantes que se recogen en el último equipo de filtrado.

Para evitar este inconveniente se ha propuesto el empleo de los monolitos de carbón activo antes de que los gases de escape lleguen a la chimenea⁷³.

Figura Nº 3.4 Horno pirolítico en Chaltén⁷⁴.



Un rápido análisis de la implementación de los distintos procesos de tratamiento de los RSD en los países más desarrollados, pone de manifiesto que aquellos con un nivel de vida más alto son los que poseen un mayor número de incineradoras. La ubicación de una planta incineradora es un asunto complejo, y para su estudio se deben tener en cuenta aspectos como la climatología de la zona (por la dirección del penacho de la chimenea), la integración con el entorno (que preserve una armonía arquitectónica), razones de índole económica (como reducir las rutas de los camiones, otras). En cualquier caso, ya sea dentro de una ciudad o en su perímetro industrial, es aconsejable dotar a la planta con un entorno ajardinado que embellezca su paisaje.

⁷³ Blanco, J. y A. Romero. PCT/ES98/00053

⁷⁴ Foto Dirección de Investigación y Extensión de la universidad de Cataluña España.

CAPITULO IV

CALCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CONO NORTE DE LIMA METROPOLITANA.

En la Unión Europea (EU), la biomasa y los combustibles derivados de los residuos sólidos “Fuels Derived from the Remainders” (RDF) se contemplan como fuentes de energía renovable que pueden sustituir grandes cantidades de combustibles fósiles no renovables tales como carbón, petróleo y gas⁷⁵. Combustibles como biomasa y RDF son neutros respecto al CO₂ emitido, lo cual significa que no agregan dióxido de carbono neto a la atmósfera cuando son tratados térmicamente, ya que emiten tanto CO₂ como ha sido fijado a la materia orgánica durante la fotosíntesis. En contraste, cuando son los combustibles fósiles los que se queman, emiten CO₂ que hace millones de años quedó fuera del ciclo natural del carbono; es, por lo tanto CO₂ añadido. Además, la recuperación energética de residuos reducirá las emisiones de metano de los vertederos. Puesto que el metano tiene 21 veces más capacidad de efecto invernadero que el CO₂, de allí que el metano es el responsable más serio de dicho cambio climático.

⁷⁵ White Paper for a Community Strategy and Action Plan, Energy for the Future: Renewable Sources of Energy” COM97,599, 23.11.97).

La biomasa alberga aproximadamente el 85% del contenido energético del combustible, el resto son componentes como plásticos y otras fuentes fósiles.

4. Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios por cada uno de los distritos del cono norte lima.

4.17 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Ancón.

El distrito de Ancón es completamente urbano, con 15 PP.JJ, 9 Urbanizaciones, 1 Cooperativa de vivienda, 1 Barrio Cuartel; agrupando un total de 5,688 viviendas. El 5.70% de los hogares no cuentan con agua, desagüe ni alumbrado público. Distribución distrital de la población por estratos, se analizó los centros poblados del distrito y se les agrupó de la siguiente manera:

Las Urbanizaciones como estrato medio, representan el 14.98% del distrito Las Asociaciones y Cooperativas de Vivienda como estrato bajo, representan el 16.16% del distrito Pueblos jóvenes y Centros poblados rurales como estrato muy bajo, representan el 68.86% del distrito.

De estas zonas se consideraron para el estudio⁷⁶:

Estrato medio:

Urb. San José Mz. A1, B, C, D, E. Urb. Virgen del Rosario Mz. A, Asoc. Pro Vivienda San Pedro Mz. A1, B, C, D, E.

Estrato medio bajo:

Urb. Garcilazo de la Vega Mz. A, B, C, D, E. Urb. Grau Mz. U, V, F, X, W1.

Estrato bajo:

AAA. HH. San Francisco de Asís Mz. A, B, C, D, E, F, G, G', H, I, J. Programa Municipal de Vivienda Nueva Era Mz. A, B, C, E, F.

Programa de Vivienda Oasis Mz. Q, P, L, N, O, T.

⁷⁶ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

4.17.1 Resultados del estudio.

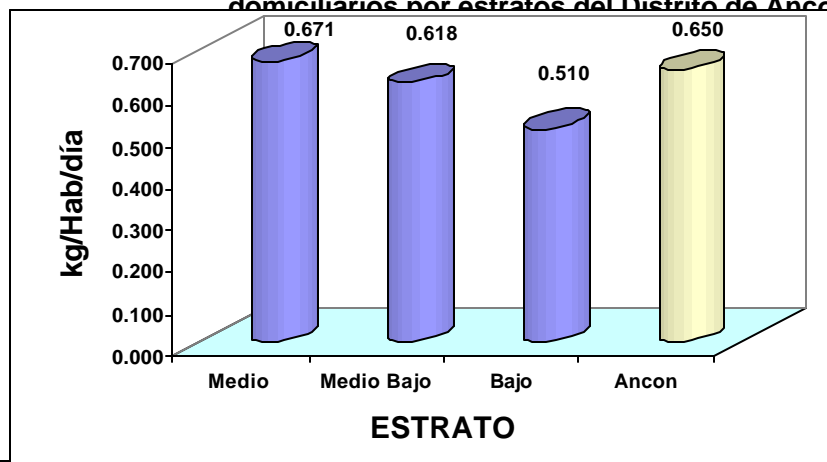
Generación Per.-Cápita de residuos sólidos se obtiene de la producción Per.-Cápita de residuos sólidos domiciliarios; correspondiendo para el estudio de este distrito 0.650 Kg./hab.-día el cual ha sido determinado considerando el promedio ponderado de los resultados de la generación Per.-cápita de los tres estratos hallados en el trabajo de campo⁷⁷.

Tabla N° 4.0 Generación Per. Capita por Estratos.

Estrato	PPC (Kg./hab.-día)
Medio	0.671
Medio Bajo	0.618
Bajo	0.510
Promedio Distrital	0.650

Como se describe en la Tabla N° 4.0 el promedio de la generación Per. Capita de los residuos sólidos por estrato para el distrito de Ancón es de 0,650 Kg. /hab.-día, siendo el estrato medio el que mayor producción presenta en el distrito.

Grafico N° 4.0 Generación Per. Capita de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Ancón.



⁷⁷ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

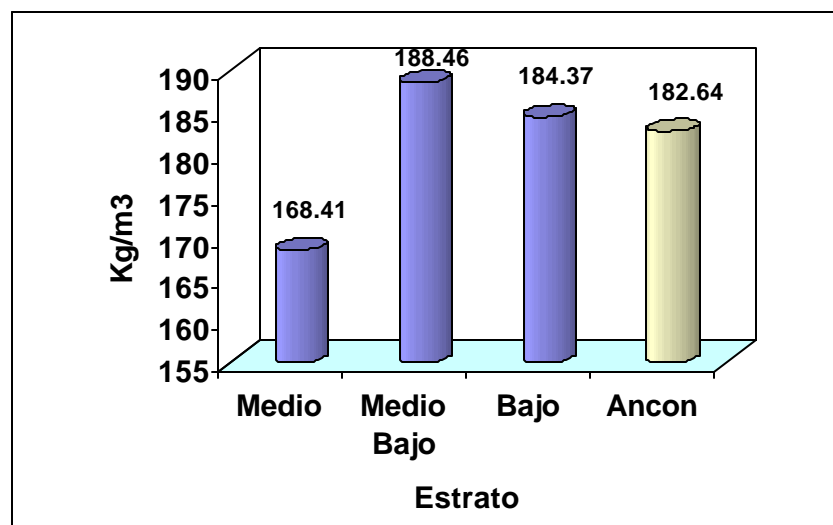
En el distrito de Ancón la generación Per. Capita de los residuos sólidos por estrato varía desde 0,671 kg. /hab. en el estrato medio y 0,510 kg. /hab. en el estrato bajo obteniendo un promedio para el distrito de 0,650 kg. /hab.

Tabla Nº 4.1 Densidad de los Residuos por Estratos.

ESTRATO	PPC (Kg./m ³)
Medio	168.41
Medio Bajo	188.463
Bajo	184.371
Promedio Distrital	182.637

La densidad de los residuos en Ancón varía entre 188.46 kg. /m³ en el estrato medio bajo y 168.41 kg. /m³ en el estrato medio siendo el promedio distrital de 182,64 kg. /m³

Grafico Nº 4.1 Densidad de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Ancón (Kg. /m³).



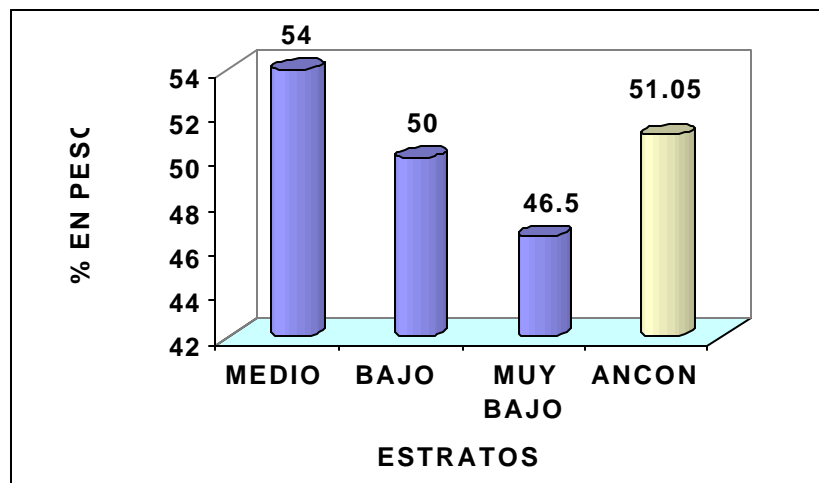
De la grafica se observa que en los estratos medio bajo y bajo se observa una mayor densidad, esto debido a la presencia de una mayor cantidad de consumo de materia orgánica.

Tabla N° 4.2 Porcentaje de humedad de los residuos sólidos domiciliarios por Estrato Socio-económico del distrito Ancón.

FECHA DE MUESTREO	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	PROMEDIO
17/10/04	56	52.5	48	52.16
19/10/04	52	51	46.5	49.85
21/10/04	56	52	45.5	51.16
PROMEDIO	54	50	46.5	51.05

Según la tabla N° 4.2 la Humedad de los residuos sólidos domiciliarios del distrito de Ancón varían en promedio de 46.5% en el estrato muy bajo a 54 % en el estrato medio siendo el promedio para el distrito de 51.05%⁷⁸.

Grafico N° 4.2. Porcentaje de Humedad de los Residuos Sólidos por estratos del Distrito de Ancón (% en peso).



La composición física de los residuos sólidos domiciliarios obtenida de la separación y análisis realizados sobre las muestras trabajadas se obtiene

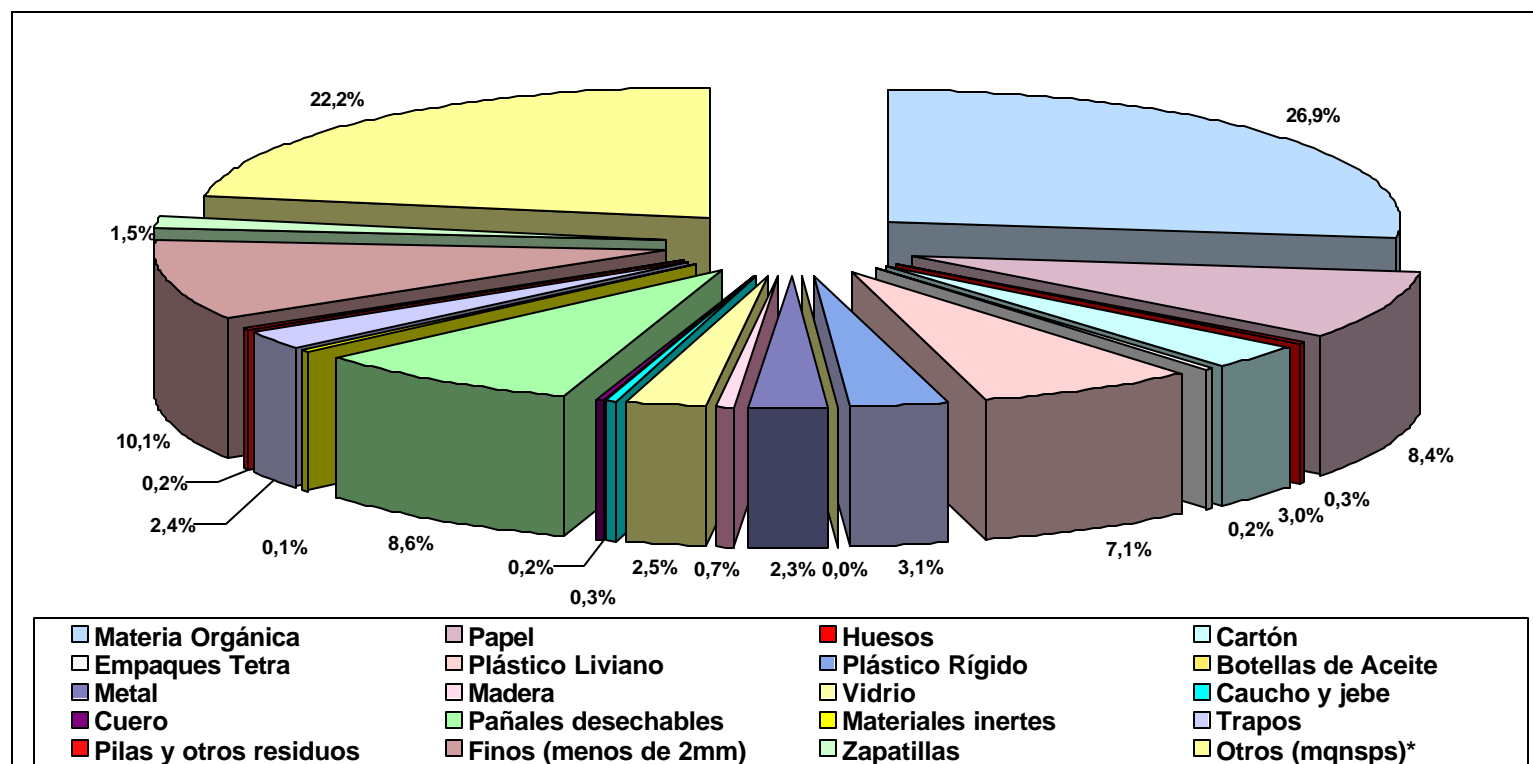
⁷⁸ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

que en el distrito de Ancón hay una mayor presencia en porcentaje de la materia orgánica en 27.14%, papel en 8.50% y plásticos en general de 10.33% como se observa en la Tabla N° 4.3

Tabla N° 4.3 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio- económico del Distrito de Ancón.

COMPONENTES	MEDIO %	MEDIO BAJO %	BAJO %	MEDIA PONDERADA
Materia Orgánica	43,55	37,73	20,78	27,14
Papel	10,45	12,77	6,97	8,50
Cartón	2,67	2,33	3,19	3,01
Plástico Liviano	5,17	4,25	8,18	7,18
Plástico Rígido	3,84	2,30	3,16	3,15
Botellas de Aceite	0,00	0,02	0,00	0,00
Empaques Tetra	0,28	0,56	0,06	0,17
Metal	2,29	2,29	2,28	2,31
Vidrio	3,57	2,90	2,13	2,49
Caucho y jebe	0,15	0,61	0,33	0,35
Cuero	0,72	0,00	0,13	0,20
Madera	1,41	0,80	0,59	0,75
Huesos	0,36	0,31	0,31	0,32
Pañales desechables	7,90	11,04	8,21	8,70
Trapos	2,31	2,36	2,38	2,39
Pilas y otros residuos	0,09	0,29	0,19	0,19
Zapatillas	0,59	0,91	1,79	1,48
Materiales inertes	0,31	0,29	0,04	0,12
Finos (menos de 2mm)	4,68	4,99	12,37	10,15
Otros (mqnsps)*	9,64	13,26	26,92	22,39

GRAFICO N° 4.3 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio -económico del Distrito de Ancón ⁷⁹



⁷⁹ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

4.18 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Carabayllo.

Se consideró los estratos socio-económico: medio, bajo y muy bajo, sobre la base de la clasificación urbana de Lima Metropolitana, según las características socio económicas determinada por el INEI, en dicha clasificación el distrito de Carabayllo se encuentra en el estrato medio.

La estratificación socio económico del distrito de Carabayllo esta dada por la Distribución distrital de la población por estratos la cual se analizó los centros poblados del distrito y se les agrupó de la siguiente manera:

Las Urbanizaciones como estrato medio, representan el 19.60% del distrito (x viviendas). Las Asociaciones y Cooperativas de Vivienda como estrato bajo, representan el 22.27% del distrito (y viviendas). Pueblos jóvenes y Centros poblados rurales como estrato muy bajo, representan el 58.13% del distrito (z viviendas).

De estas zonas se consideraron para el estudio⁸⁰.

Estrato medio:

Urb. Sta. Isabel, Lucyana y ENACE.

Estrato bajo:

Asoc. De Viv. Sta. Rosa, Estrella Solar, A.H. 17 de Febrero.

Estrato muy bajo:

AA.HH. Raúl Porras Barrenechea, Hacienda Caudivilla.

4.18.1 Resultados del estudio.

Generación Per.-cápita de residuos sólidos.- la producción Per.-cápita de residuos sólidos domiciliarios del distrito es de 0.457 Kg./hab.-día y ha sido determinado considerando el promedio ponderado de los

⁸⁰ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

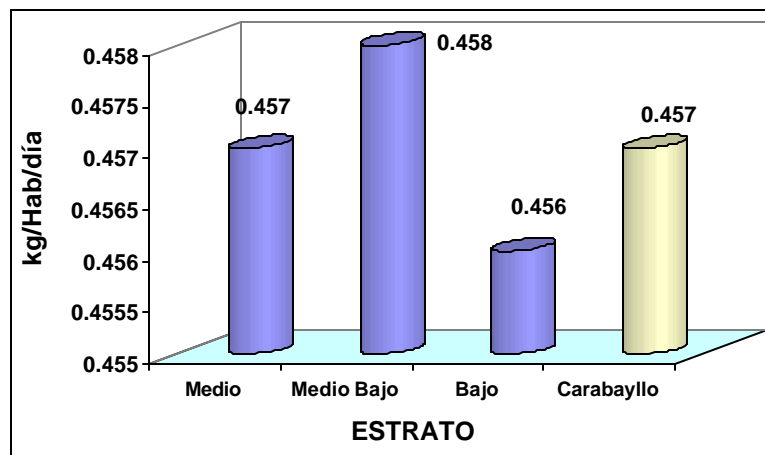
resultados de la generación Per.-cápita de los tres estratos hallados en el trabajo de campo.

Tabla Nº 4.4 Generación Per. Capita por Estratos.

ESTRATO	PPC (Kg./hab.-día)
Medio	0.457
Medio Bajo	0.458
Bajo	0.456
Promedio Distrital	0.457

Como se observa en la Tabla Nº 4.4 el promedio de la generación Per. Capita de los residuos sólidos por estrato para el distrito de Carabaylo es de 0,457 Kg./hab.-día.

Grafico Nº 4.4 Generación Per. Capita de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Carabaylo.



En el distrito de Carabaylo la generación Per. Capita de los residuos sólidos por estrato varía desde 0,458 kg. /hab. en el estrato medio y

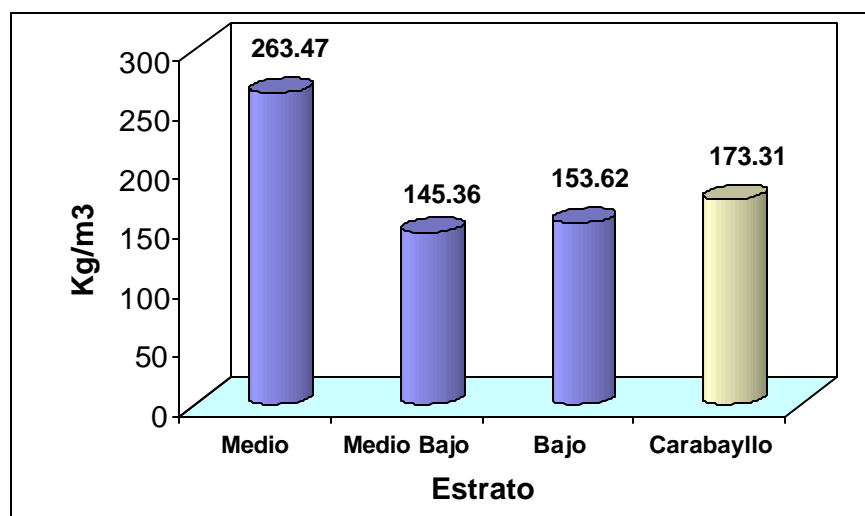
0,456 kg. /hab. en el estrato bajo obteniendo un promedio para el distrito de 0,457 kg. /hab.

Para el calculo de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios; obtuvimos una densidad resultante hallada de 173.31 Kg. /m³.

Tabla N° 4.5 Densidad de los Residuos por Estratos

Estrato	Densidad (Kg./ m ³)
Medio	263.47
Bajo	145.36
Muy bajo	153.62
Promedio Distrital	173.31

Grafico N° 4.5 Densidad de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Carabayllo (Kg. /m³).



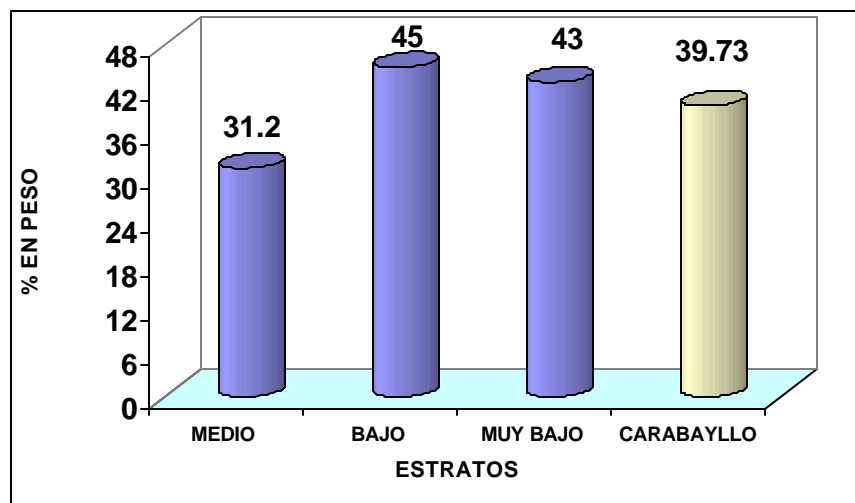
De la grafica se observa que en el estratos medio hay una mayor concentración de la densidad en comparación de los estratos medio bajo y bajo

Tabla Nº 4.6 Porcentaje de humedad de los residuos sólidos domiciliarios por Estrato Socio-económico del distrito de Carabayllo

ESTRATO	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	MEDIA PONDERADA
PROMEDIO	31.2	45	43	39.73

La humedad de los residuos sólidos domiciliarios de acuerdo a los resultados de laboratorio los residuos sólidos domiciliarios en Carabayllo presentan una humedad del 39.73%, y por estrato socio-económico⁸¹.

Grafico Nº 4.6 Porcentaje de Humedad de los Residuos Sólidos



por estratos del Distrito de Carabayllo (% en peso).

Según la tabla Nº 4.6 la Humedad de los residuos sólidos domiciliarios en Carabayllo varían en de 45% en el estrato bajo a 31.2 % en el estrato medio siendo el promedio de 39.73%.

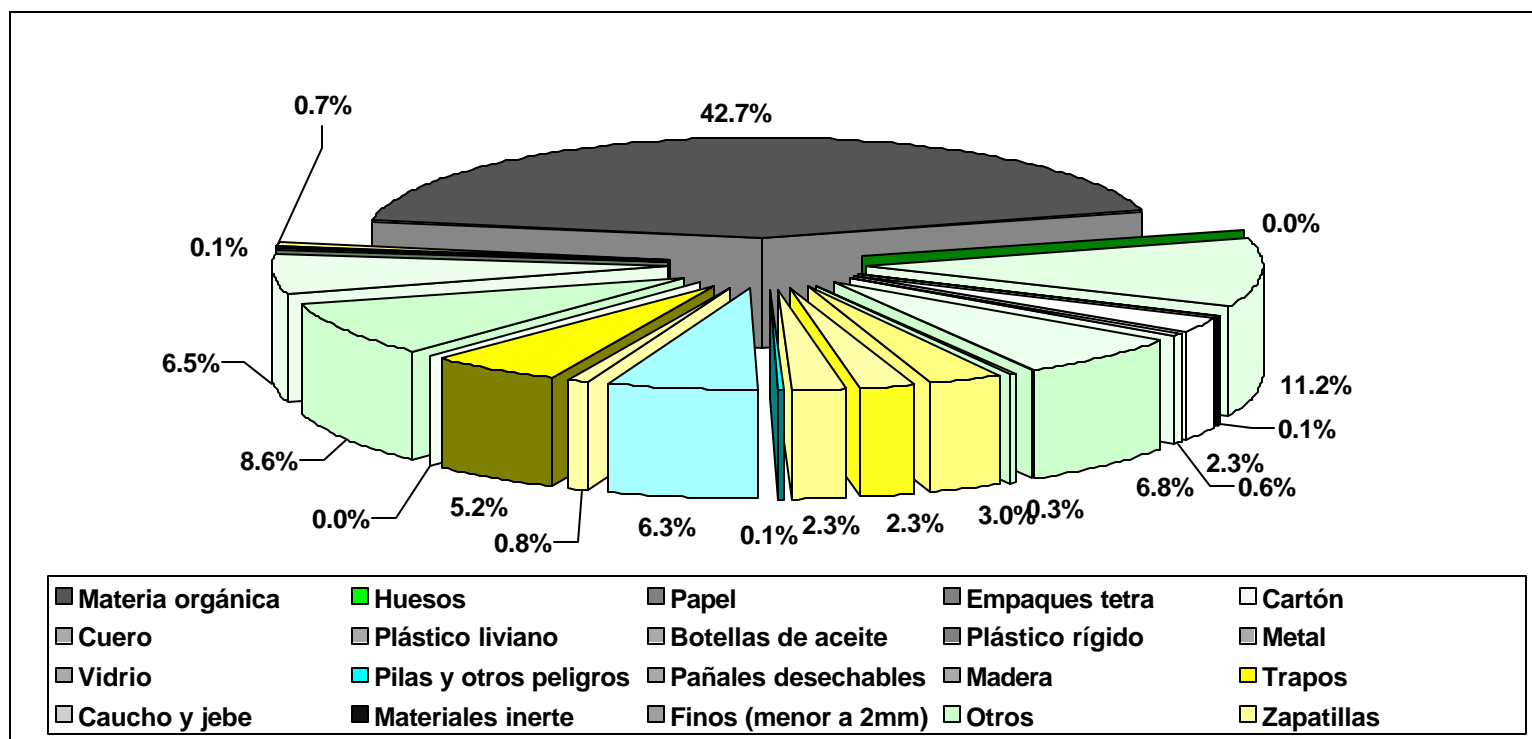
⁸¹ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

La composición física de los residuos sólidos domiciliarios obtenida de la separación y análisis realizados sobre las muestras trabajadas se obtiene que en el distrito de Carabaylo hay una mayor presencia en porcentaje de la materia orgánica en 42.72%, papel en 11.24% y plásticos en general de 9.83% como se observa en la Tabla N° 4.7

Tabla N° 4.7 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio- económico del Distrito de Carabaylo

COMPONENTES	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	MEDIA PONDERADA
Materia orgánica	48.50	44.27	40.18	42.72
Papel	12.43	15.06	9.37	11.24
Cartón	2.42	3.00	1.97	2.29
Plástico liviano	5.62	6.02	7.56	6.83
Plástico rígido	3.54	1.83	3.26	3.00
Botellas de aceite	0.10	0.58	0.34	0.35
Empaques tetra	0.27	0.05	0.09	0.12
Metal	2.70	2.49	2.12	2.32
Vidrio	1.95	1.78	2.59	2.29
Caucho y jebe	0.00	0.00	0.00	0.00
Cuero	0.07	0.49	0.85	0.62
Madera	0.62	0.66	0.84	0.76
Huesos	0.00	0.00	0.00	0.00
Pañales desechables	2.82	4.34	8.23	6.30
Trapos	3.17	3.68	6.39	5.16
Pilas y otros peligros	0.00	0.00	0.20	0.12
Zapatillas	0.62	0.22	0.85	0.67
Material inerte	9.01	10.58	7.78	8.64
Finos (menor a 2mm)	6.14	4.43	7.38	6.48
Otros	0.00	0.54	0.00	0.12

Grafico N° 4.7 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio- económico del Distrito de Carabayllo ⁸²



⁸² Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

4.19 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Comas.

Para este estudio se realizó la distribución de la población en el distrito por estratos analizándose los centros poblados del distrito y se les agrupó de la siguiente manera:

Las Urbanizaciones y el Cercado como estrato medio, representan el 37% del distrito (26,297 viviendas). Las Asociaciones y Cooperativas de Vivienda como estrato bajo, representan el 15% del distrito (10,661 viviendas). Pueblos jóvenes y Centros poblados rurales como estrato muy bajo, representan el 48% del distrito (34,115 viviendas).

De estas zonas se consideraron para el estudio⁸³.

Estrato medio:

Urbanización San Felipe.

Estrato bajo:

Urbanización Parral

Estrato muy bajo:

AA.HH. Cautivo de Ayabaca y César Vallejo.

4.19.1 Resultados del estudio.

La producción Per.-cápita de residuos sólidos domiciliarios del distrito es de 0.484 Kg./hab./día y ha sido determinado considerando el promedio ponderado de los resultados de la generación Per.-cápita de los tres estratos hallados en el trabajo de campo.

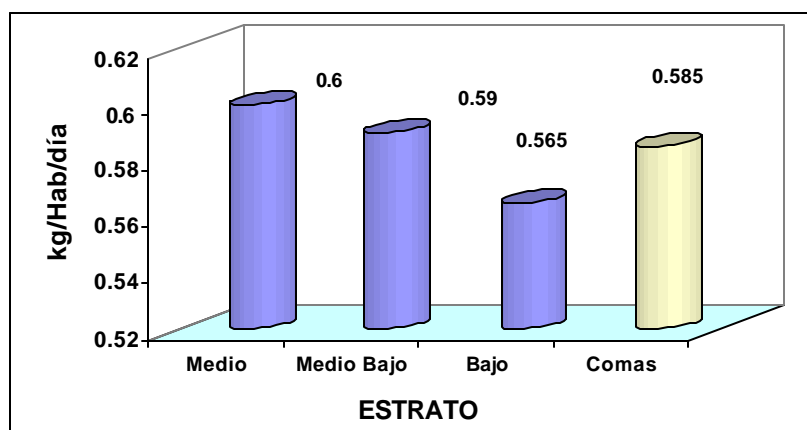
⁸³ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

Tabla N° 4.8 Generación Per. Capita por Estratos.

Estrato	PPC (Kg./hab.-día)
Medio	0.600
Bajo	0.590
Muy bajo	0.565
Promedio Distrital	0.585

Como se observa en la Tabla N° 4.8 el promedio de la generación per. Capita de los residuos sólidos por estrato para el distrito de Comas es de 0,585 Kg. /hab.-día, siendo el estrato medio el que mayor producción presenta en el distrito.

Grafico N° 4.8 Generación Per. Capita de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Comas.



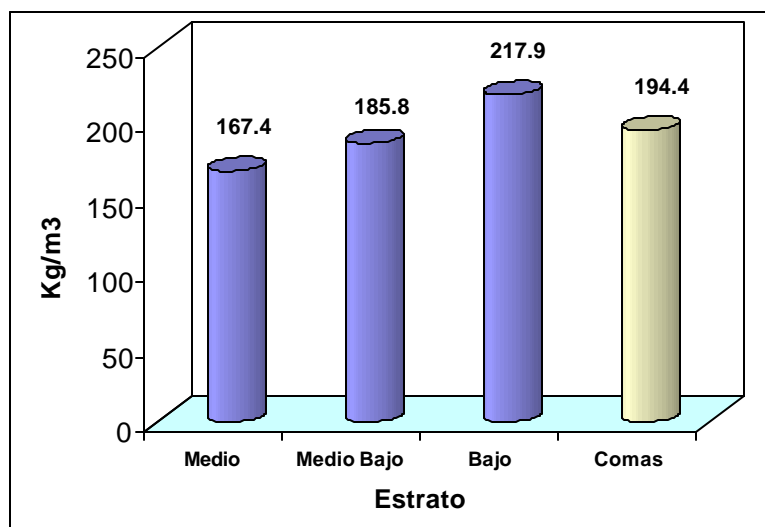
Para el cálculo de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios; obtuvimos una densidad resultante hallada de 194.405 Kg. /m³.

Tabla N° 4.9 Densidad de los Residuos por Estratos

Estrato	Densidad (Kg./ m ³)
Medio	167.396
Bajo	185.825
Muy bajo	217.907
Promedio distrital	194.405

La densidad de los residuos en Comas varía entre 217,9 kg. /m³ en el estrato bajo y 167.4 kg. /m³ en el estrato medio siendo el promedio distrital de 194,4 kg. /m³

Grafico N° 4.9 Densidad de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Comas (Kg. /m³).



La humedad de los residuos sólidos domiciliarios para el distrito de Comas presentan una humedad en promedio de 56.20%.

Tabla N° 4.10 Porcentaje de humedad de los residuos sólidos domiciliarios del distrito de Comas.

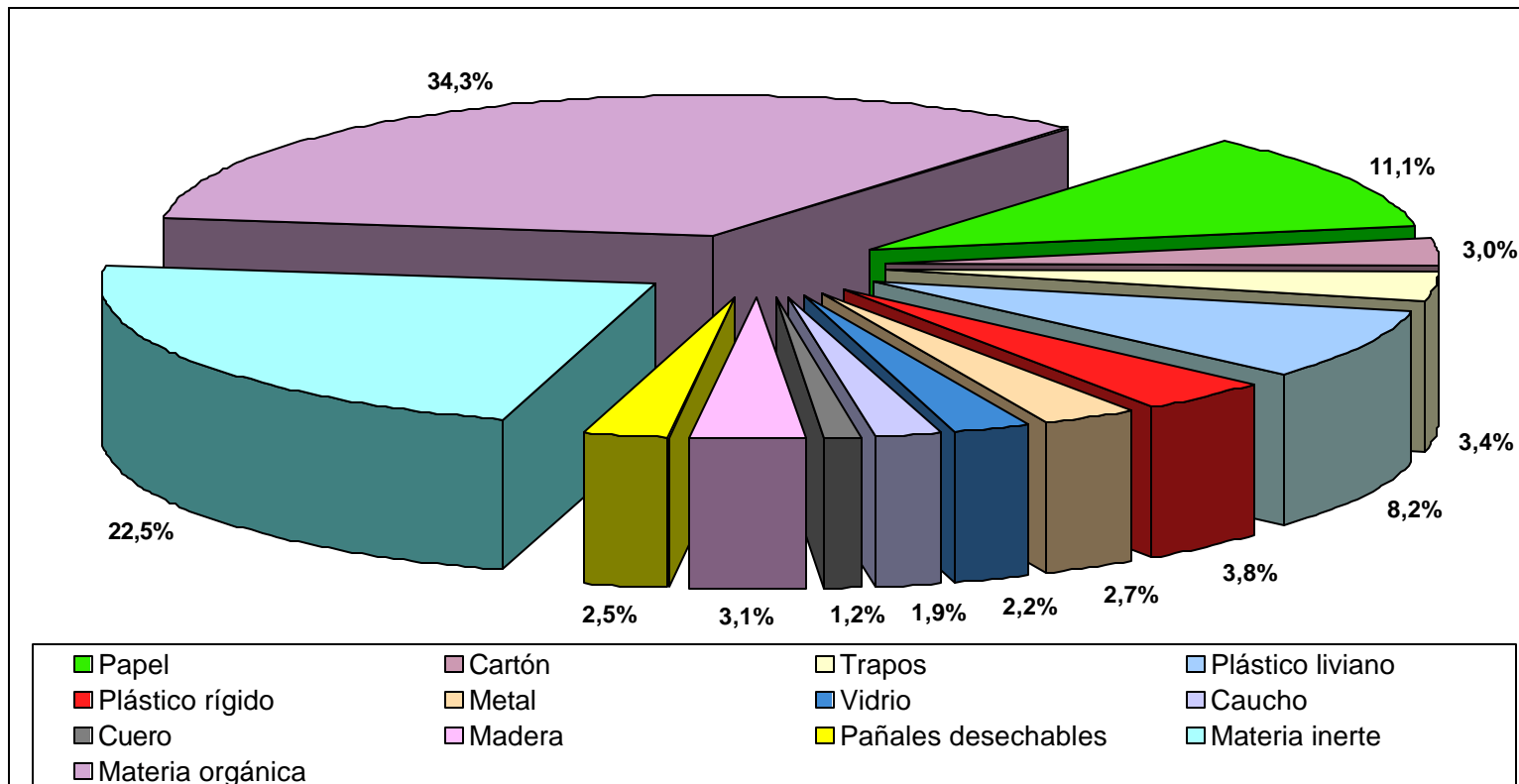
ESTRATO PROMEDIO	MEDIA PONDERADA 56.20 %
-----------------------------	------------------------------------

La Composición física de los residuos sólidos domiciliarios en Comas; de la separación y análisis realizados sobre las muestras obtenidas se tiene que en el distrito destaca el mayor porcentaje de la materia orgánica en 34.26%, papel en 11.12% y plásticos en general de 12.03% como se observa en la Tabla N° 4.11

Tabla N° 4.11 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio- económico del Distrito de Comas.

COMPONENTES	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	MEDIA PONDERADA
Papel	15.03	11.12	8.11	11.12
Cartón	2.83	3.93	2.76	2.96
Trapos	2.75	4.30	3.59	3.39
Plástico liviano	5.74	6.27	10.69	8.20
Plástico rígido	3.01	4.35	4.30	3.83
Metal	2.83	3.26	2.49	2.73
Vidrio	2.29	2.73	2.06	2.25
Caucho	1.13	1.00	2.81	1.92
Cuero	0.30	2.09	1.64	1.21
Madera	1.32	1.57	4.97	3.11
Pañales desechables	1.80	3.76	2.69	2.52
Materia inerte	17.01	23.41	26.46	22.51
Materia orgánica	43.94	32.22	27.43	34.26

Grafico N° 4.10 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio-económico del Distrito de Comas⁸⁴



⁸⁴ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

4.20 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Independencia.

La distribución de la población por estratos en este distrito, se analizó tomando los centros poblados del distrito y se les agrupó de la siguiente manera:

Las Urbanizaciones y el Cercado como estrato medio, representan el 30.85% del distrito (X viviendas). Las Asociaciones y Cooperativas de Vivienda como estrato bajo, representan el 32.68% del distrito (Y viviendas). Pueblos jóvenes y Centros poblados rurales como estrato muy bajo, representan el 36.47% del distrito (Z viviendas).

De estas zonas se consideraron para el estudio⁸⁵:

Estrato medio:

Tahuantinsuyo: Primer Sector, Ermitaño: Urb. Las Violetas.

Estrato bajo:

Tahuantinsuyo: Tercer Sector, Ermitaño: Calle Los Arrayanes, Payet: P.J. José Olaya.

Estrato muy bajo:

Tahuantinsuyo: AA.HH. Jesús de Nazareth, Estrella de Belén, Payet: AA.HH. Villa Los Jardines, Víctor Raúl, Alan García.

4.20.1 Resultados del estudio.

La producción Per.-cápita de residuos sólidos domiciliarios del distrito es de 0.438 Kg./hab.-día y ha sido determinado considerando el promedio ponderado de los resultados de la generación Per.-cápita de los tres estratos hallados en el trabajo de campo.

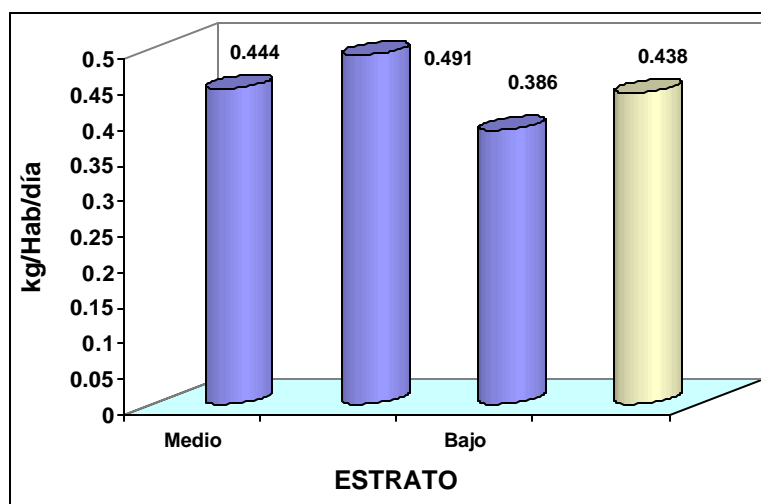
⁸⁵ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

Tabla N° 4.12 Generación Per. Capita por Estratos

Estrato	PPC (Kg./hab./día)
Medio	0.444
Bajo	0.491
Muy bajo	0.386
Promedio distrital	0.438

Como se observa en la Tabla N° 4.12 el promedio de la generación per. Capita de los residuos sólidos por estrato para el distrito de Independencia es de 0,438 Kg./hab.-día, siendo el estrato bajo el que mayor producción presenta en el distrito.

Grafico N° 4.11 Generación Per. Capita de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Independencia.



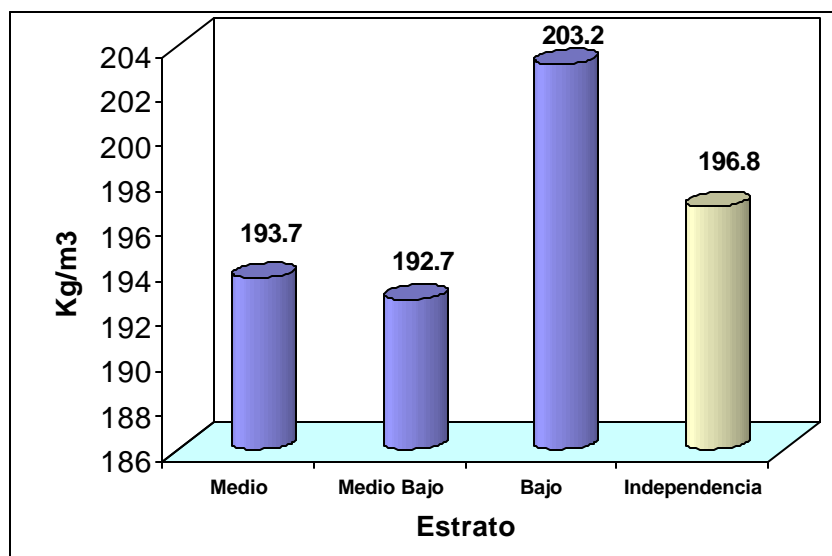
Para el calculo de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios; obtuvimos una densidad resultante hallada de 196.81 Kg./m³.

Tabla N° 4.13 Densidad de los Residuos por Estratos

Estrato	Densidad (Kg./ m ³)
Medio	193.65
Bajo	192.68
Muy bajo	203.17
Promedio distrital	196.81

La densidad de los residuos en Independencia varia entre 203,2 kg./m³ en el estrato bajo y 192,7 kg./m³ en el estrato medio bajo siendo el promedio distrital de 196,8 kg./m³

Grafico N° 4.12. Densidad de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Independencia (Kg./m³).

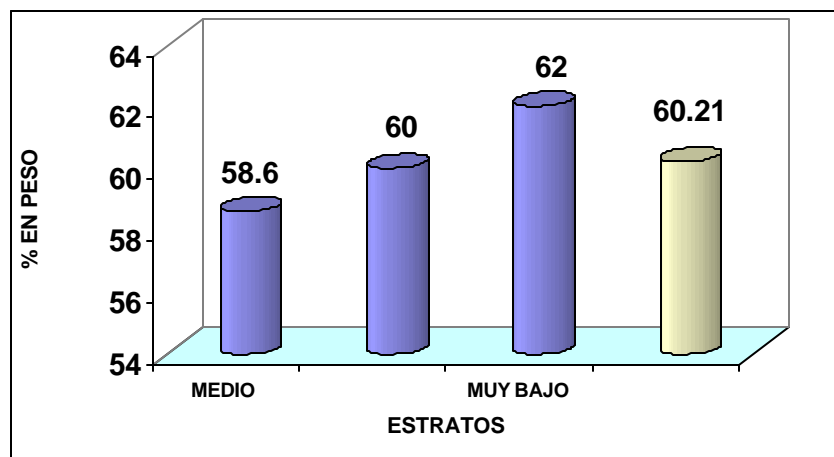


La humedad de los residuos sólidos domiciliarios de acuerdo a los resultados de laboratorio para el distrito de Independencia nos presentan una humedad del 60.21%, y por Estrato Socio-económico.

Tabla N° 4.14 Porcentaje de humedad de los residuos sólidos domiciliarios por Estrato Socio-económico del distrito de Independencia.

ESTRATO	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	MEDIA PONDERADA
PROMEDIO	58.6	60	62	60.21

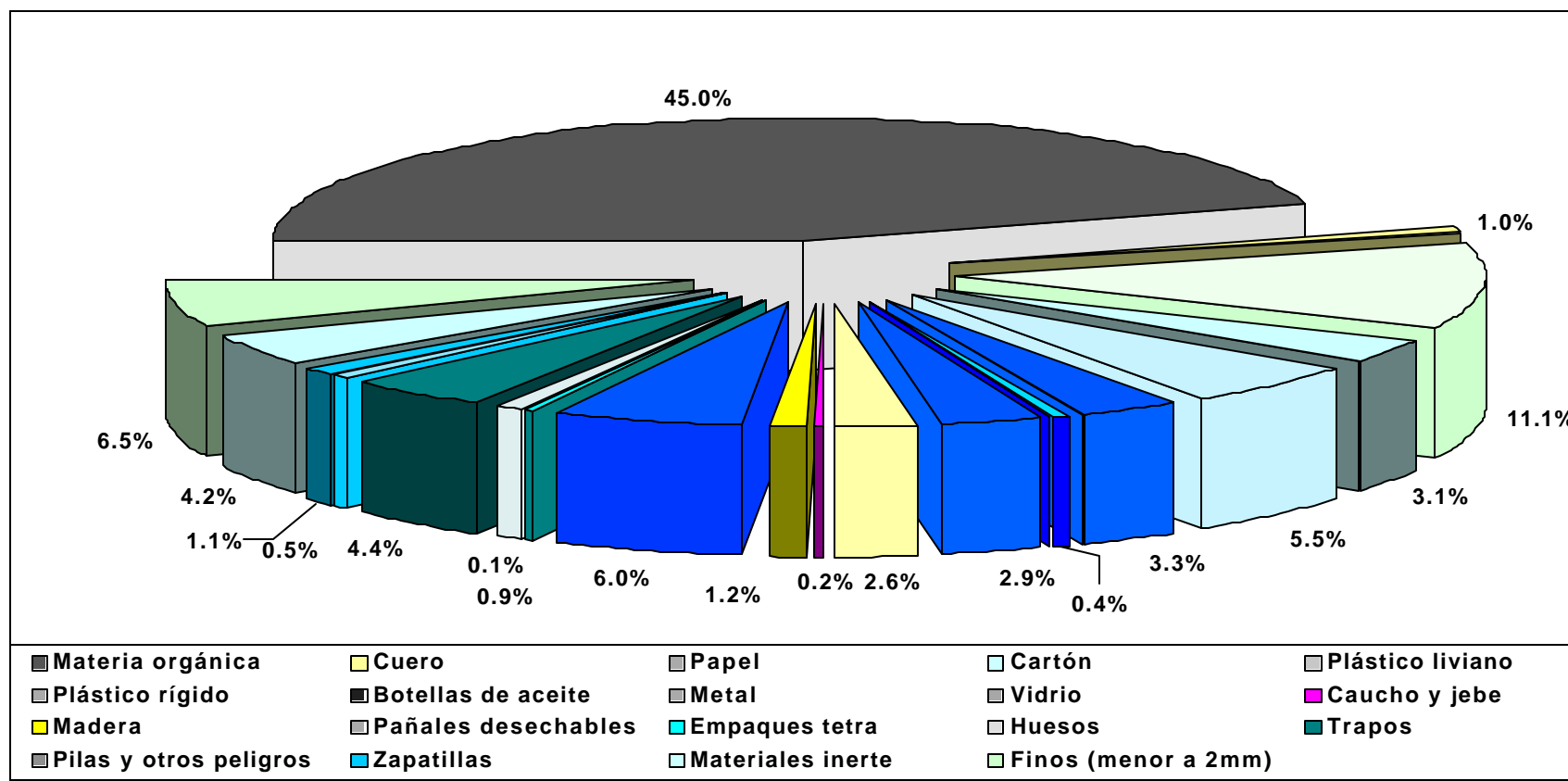
Grafico N° 4.13 Porcentaje de Humedad de los Residuos Sólidos por estratos del Distrito de Independencia (% en peso).



**Tabla Nº 4.15 Composición Física de Residuos Sólidos
Domiciliarios por Estrato Socio- económico del
Distrito de Independencia.**

COMPONENTES	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	MEDIA PONDERADA
Materia orgánica	47.97	43.25	34.36	41.46
Papel	10.77	10.78	9.37	10.26
Cartón	2.66	2.84	3.16	2.90
Plástico liviano	4.23	5.15	5.80	5.11
Plástico rígido	2.54	2.26	4.06	3.00
Botellas de aceite	0.37	0.41	0.38	0.39
Empaques tetra	0.15	0.05	0.04	0.08
Metal	3.09	2.58	2.51	2.71
Vidrio	3.64	2.13	1.52	2.37
Caucho y jebe	0.11	0.04	0.39	0.19
Cuero	0.79	0.42	1.45	0.91
Madera	0.64	0.39	2.09	1.09
Huesos	0.78	0.92	0.81	0.84
Pañales desechables	5.74	6.70	4.35	5.55
Trapos	3.63	5.70	3.04	4.09
Pilas y otros peligros	0.88	0.10	0.35	0.43
Zapatillas	1.17	0.30	1.54	1.02
Materiales inerte	3.12	4.64	3.72	3.84
Finos (menor a 2mm)	2.54	5.43	9.35	5.97
Otros	5.18	5.91	11.70	7.80

Grafico N° 4.14 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio-económico del Distrito de Independencia ⁸⁶



⁸⁶ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000.

4.21 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Los Olivos.

Se consideró los estratos socio-económico: medio, bajo y muy bajo, sobre la base de la clasificación urbana de Lima Metropolitana, según las características socio económicas determinada por el INEI, en dicha clasificación el distrito de Olivos se encuentra en el estrato medio.

4.21.1 Resultados del estudio.

La producción Per. Cápite de residuos sólidos domiciliarios del distrito en promedio es de 0.625 Kg./hab./día y ha sido determinado considerando el promedio ponderado de los resultados de la generación Per. Cápite de los tres estratos hallados en el trabajo de campo⁸⁷.

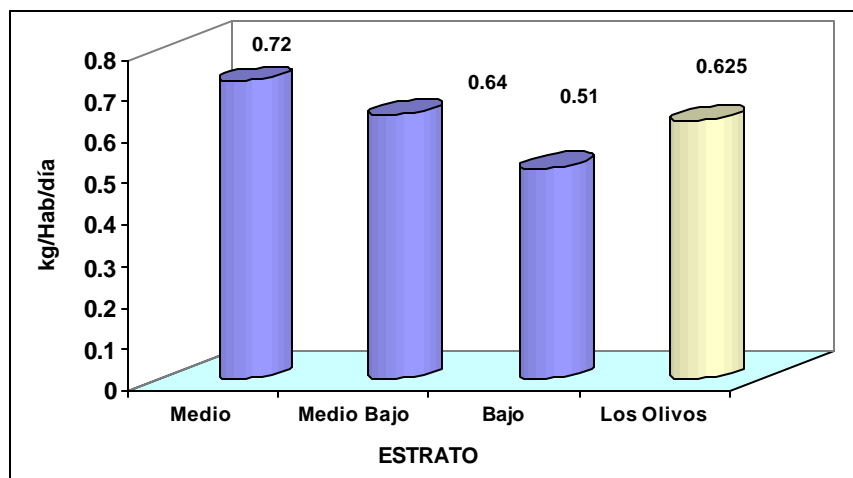
Tabla Nº 4.16 Generación Per. Capita por Estratos.

Estrato	PPC (Kg./hab.-día)
Medio	0.720
Bajo	0.640
Muy bajo	0.510
Promedio Distrital	0.625

Como se observa en la Tabla Nº 4.16 el promedio de la generación per. Capita de los residuos sólidos por estrato para el distrito de Los Olivos es de 0,625 Kg./hab.-día, siendo el estrato medio el que mayor producción presenta en el distrito

⁸⁷ Generación y Caracterización de los Residuos Sólidos del Cono Norte de Lima ALTERNATIVA.

Grafico N° 4.15 Generación Per. Capita de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Los Olivos.



Al determinar la densidad de los residuos sólidos domiciliarios; se obtuvo una densidad resultante hallada de 189.557 Kg./m³

Tabla N° 4.17 Densidad de los Residuos por Estratos

Estrato	Densidad (Kg./ m ³)
Medio	167.396
Bajo	181.432
Muy bajo	224.768
Promedio Distrital	189.557

En Los Olivos la densidad varía entre 224,77 kg./m³ en el estrato bajo y 167.40 kg./m³ en el estrato medio siendo el promedio distrital de 189,56 kg./m³

Grafico N° 4.16 Densidad de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Los Olivos (Kg./m³).

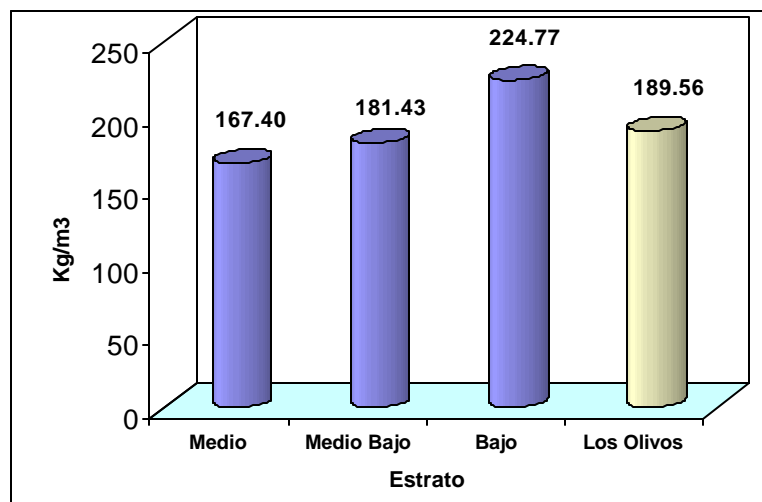


Tabla N° 4.18 Porcentaje de humedad de los residuos sólidos domiciliarios por Estrato Socio-económico del distrito de Los Olivos 2000.

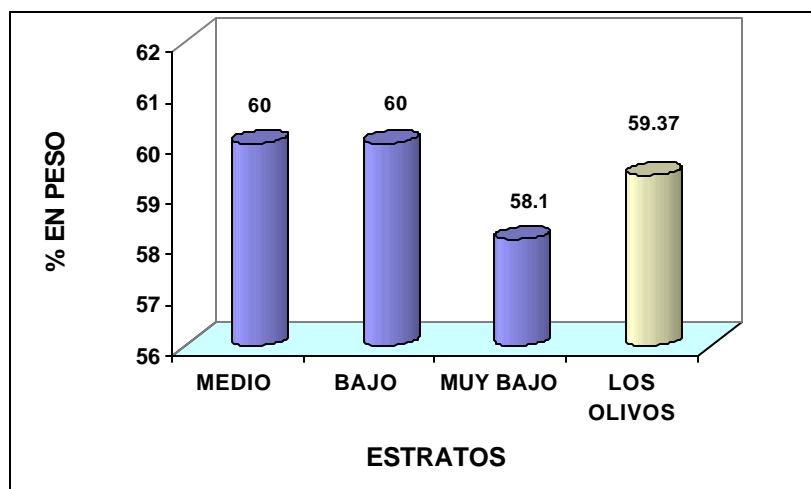
ESTRATO	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	MEDIA PONDERADA
PROMEDIO	60	60	58.1	59.37

La humedad de los residuos sólidos domiciliarios de acuerdo a los resultados de laboratorio para el distrito de los Olivos nos presentan una humedad del 59.37%, y por Estrato Socio-económico.

Según la tabla N° 4.17 la Humedad de los residuos sólidos domiciliarios en Los Olivos varia en promedio de 60% en los estratos medio y bajo a 59,37 % en el estrato muy bajo siendo el promedio de 59.37%⁸⁸.

⁸⁸ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

Grafico N° 4.17 Porcentaje de Humedad de los Residuos Sólidos por estratos del Distrito de Los Olivos (% en peso).

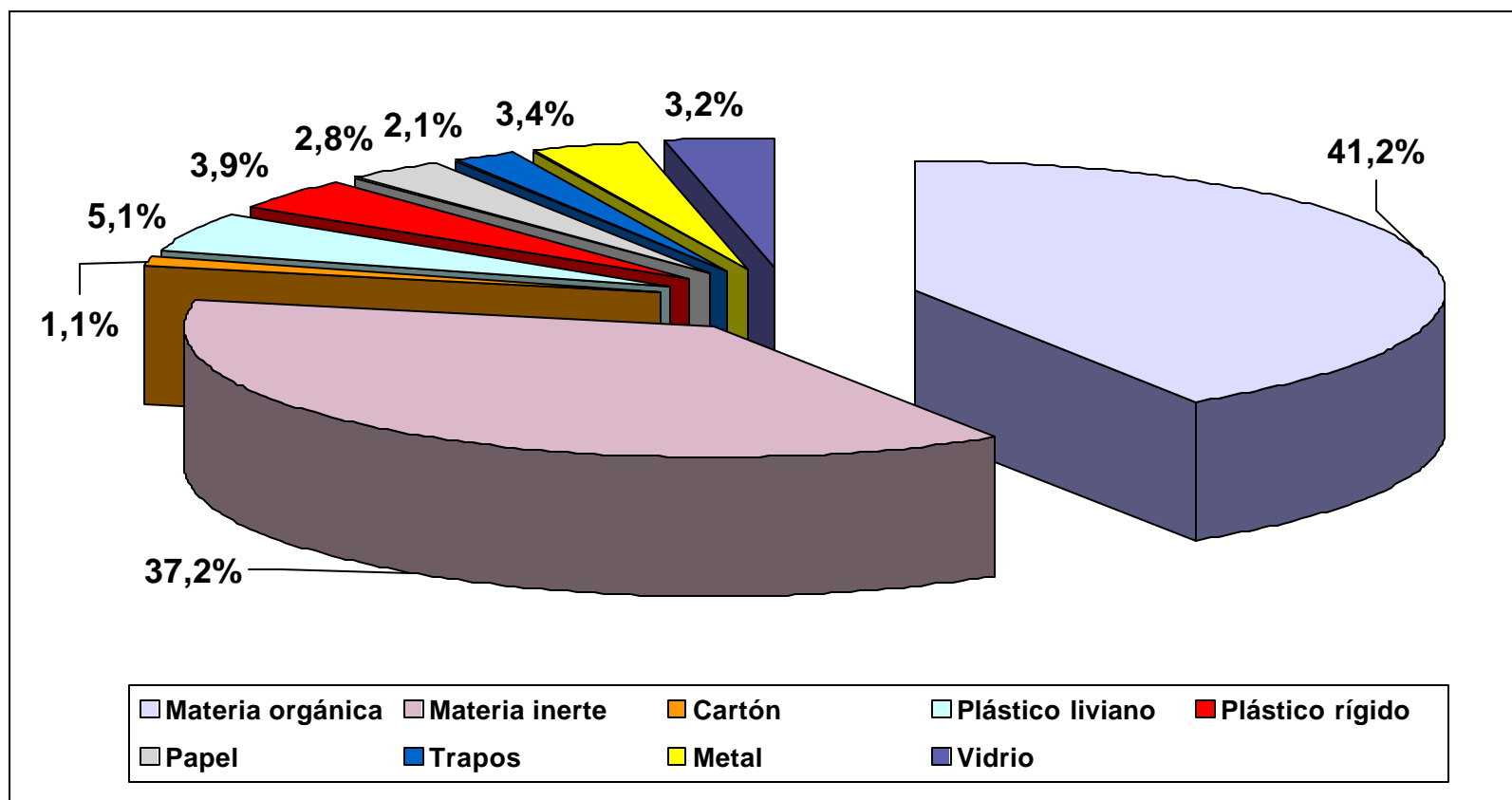


La composición física de los residuos sólidos domiciliarios obtenida de la separación y análisis realizados sobre las muestras trabajadas se obtiene que en el distrito de Ancón hay una mayor presencia en porcentaje de la materia orgánica en 27.14%, papel en 8.50% y plásticos en general de 10.33% como se observa en la Tabla N° 4.19

**Tabla N° 4.19 Composición Física de Residuos Sólidos
Domiciliarios por Estrato Socio- económico del
Distrito de Los Olivos**

COMPONENTES	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	MEDIA PONDERADA
Materia orgánica	47.97	43.25	34.36	41.86
Materia inerte	10.77	10.78	9.37	10.31
Cartón	2.66	2.84	3.16	2.89
Plástico liviano	4.23	5.15	5.80	5.11
Plástico rígido	4.54	4.26	4.06	4.287
Papel	0.37	0.41	0.38	3.39
Trapos	0.15	0.05	0.04	2.08
Metal	3.09	2.58	2.51	3.51
Vidrio	3.64	2.13	1.52	3.37
Madera	4.63	4.26	3.56	4.150

Grafico N° 4.18 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio-económico del Distrito de Los Olivos⁸⁹.



⁸⁹ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

4.22 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Puente Piedra.

Se consideró los estratos socio-económico: medio, bajo y muy bajo, sobre la base de la clasificación urbana de Lima Metropolitana, según las características socio económicas determinada por el INEI, en dicha clasificación el distrito de Puente Piedra se encuentra en el estrato bajo.

Para la distribución distrital de la población por estratos se analizó los centros poblados del distrito y se les agrupó de la siguiente manera: Las Urbanizaciones y el Cercado como estrato medio, representan el 17% del distrito. Las Asociaciones y Cooperativas de Vivienda como estrato bajo, representan el 31% del distrito. Pueblos jóvenes y Centros poblados rurales como estrato muy bajo, representan el 52% del distrito.

De estas zonas se consideraron para el estudio:

Estrato medio:

Cercado de Puente Piedra

Estrato bajo:

Asociación de Vivienda Rosa Luz

Estrato muy bajo:

AA.HH. Lomas de Zapallal.

4.22.1 Resultados del estudio.

La producción Per. Cápita de residuos sólidos domiciliarios del distrito es en promedio de 0.510 Kg./hab./día y ha sido determinado considerando el promedio ponderado de los resultados de la generación Per. Cápita de los tres estratos hallados en el trabajo de campo⁹⁰.

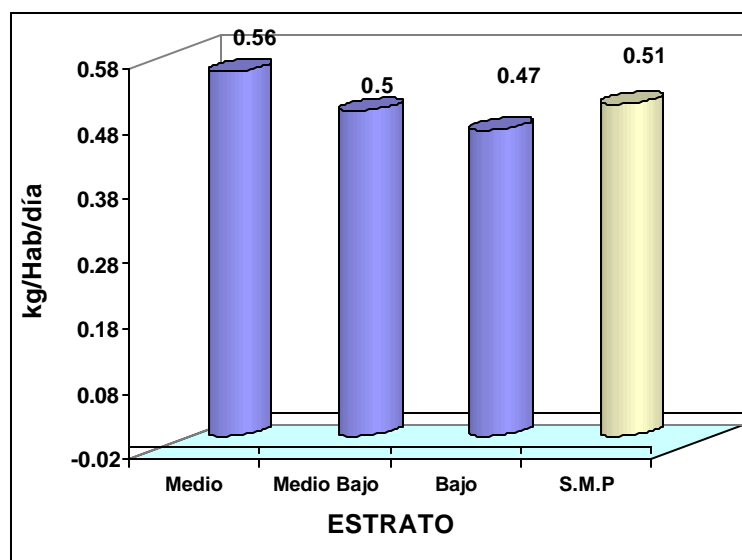
⁹⁰ Generación y Caracterización de los Residuos Sólidos del Cono Norte de Lima ALTERNATIVA

Tabla N° 4.20 Generación Per. Capita por Estratos

Estrato	PPC (Kg./hab./día)
Medio	0.560
Bajo	0.500
Muy bajo	0.470
Promedio distrital	0.510

Como se observa en la Tabla N° 4.20 el promedio de la generación per. Capita de los residuos sólidos por estrato para el distrito de Puente Piedra es de 0,510 Kg./hab. -día, siendo el estrato medio el que mayor producción presenta en el distrito

Grafico N° 4.19 Generación Per. Capita de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Puente Piedra.

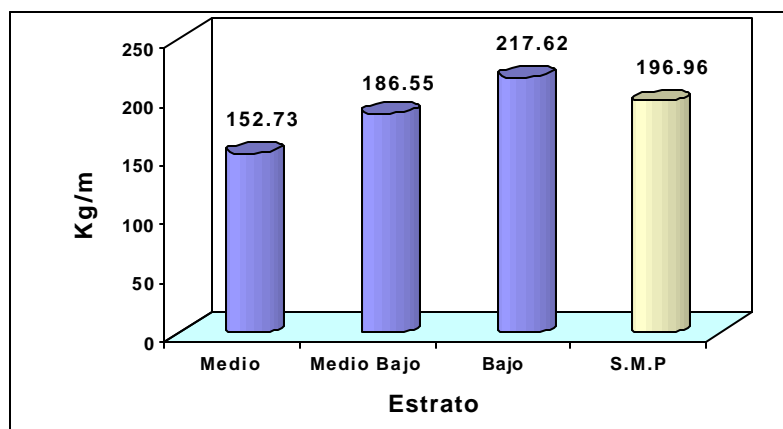


Para el cálculo de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios; obtuvimos una densidad resultante hallada de 196.959 Kg./m³

Tabla N° 4.21 Densidad de los Residuos por Estratos

Estrato	Densidad (Kg./ m ³)
Medio	152.725
Bajo	186.553
Muy bajo	217.624
Promedio Distrital	196.959

Grafico N° 4.20 Densidad de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Puente Piedra - 2000 (Kg./m³).



La densidad de los residuos en Puente Piedra varia entre 217,62 kg./m³ en el estrato bajo y 152,73 kg./m³ en el estrato medio siendo el promedio distrital de 196,96 kg./m³

Tabla N° 4.22 Porcentaje de humedad de los residuos sólidos domiciliarios del distrito de Puente Piedra 2000.

ESTRATO	MEDIA PONDERADA
PROMEDIO	65.99

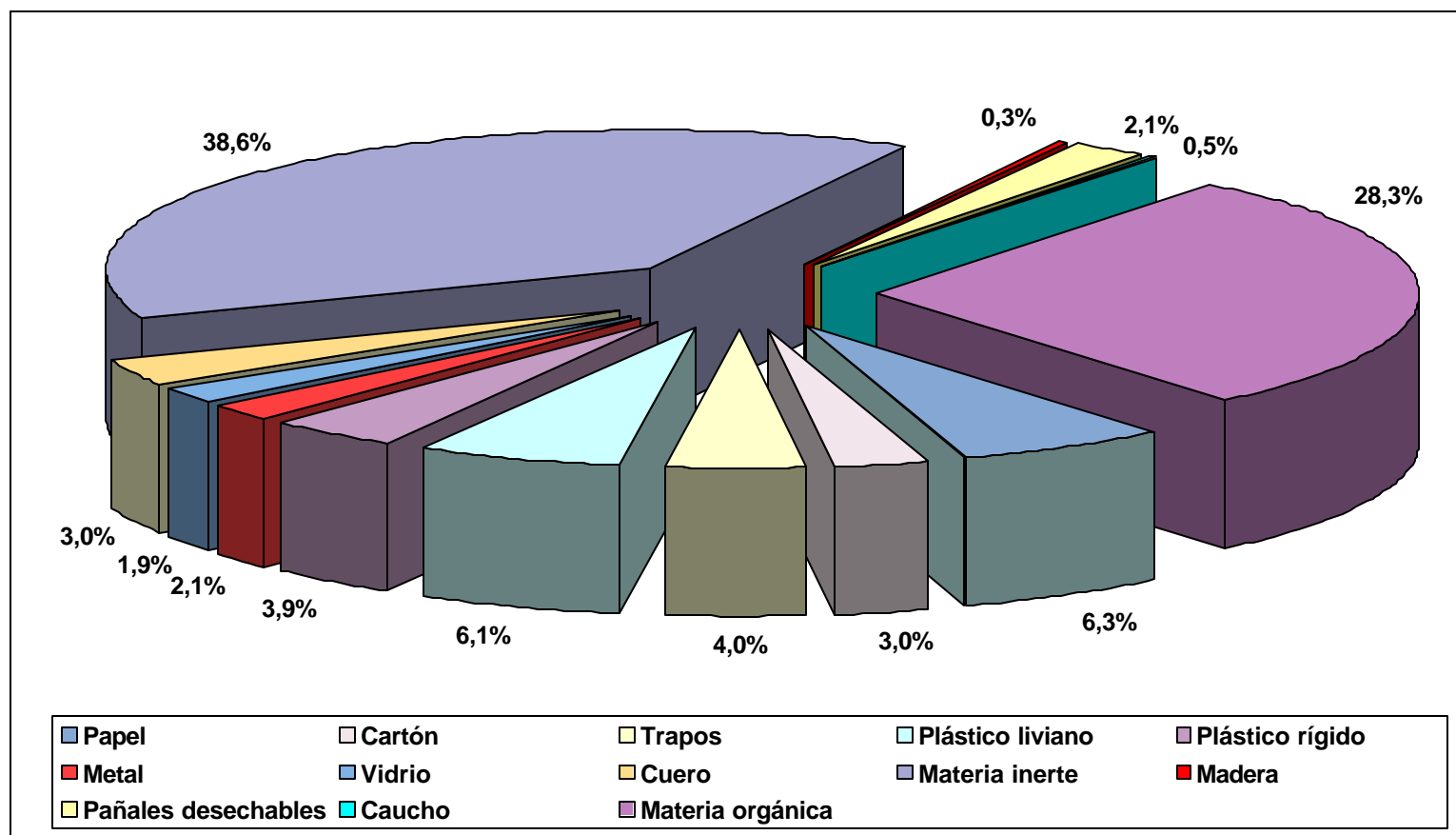
La humedad de los residuos sólidos domiciliarios de acuerdo a los resultados de laboratorio para el distrito de Puente Piedra, presenta una humedad del 65.99%.

La composición física de los residuos sólidos domiciliarios obtenida de la separación y análisis realizados sobre las muestras trabajadas se obtiene que en el distrito de Puente Piedra hay una mayor presencia en porcentaje de la materia orgánica en 28,03%, papel en 6,21% y plásticos en general de 9,85% como se observa en la Tabla N° 4.23

Tabla N° 4.23 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio- económico del Distrito de Puente Piedra.

COMPONENTES	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	MEDIA PONDERADA
Papel	8.85	6.03	5.46	6.21
Cartón	4.37	2.83	2.67	3.01
Trapos	4.70	3.96	3.75	3.98
Plástico liviano	4.75	5.85	6.54	6.02
Plástico rígido	3.93	4.00	3.42	3.83
Metal	3.06	1.66	2.08	2.12
Vidrio	2.24	1.80	1.79	1.87
Caucho	0.44	0.00	0.79	0.49
Cuero	0.38	0.18	5.54	3.00
Madera	0.27	0.49	0.12	0.26
Pañales desechables	12.07	0.00	0.00	2.05
Materia inerte	26.71	37.32	42.73	38.33
Materia orgánica	28.24	35.88	23.28	28.03

Grafico N° 4.21 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio - económico del Distrito de Puente Piedra⁹¹.



⁹¹ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

4.23 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de San Martín de Porres 2000.

Se consideró los estratos socio-económico: medio, bajo y muy bajo, sobre la base de la clasificación urbana de Lima Metropolitana, según las características socio económicas determinada por el INEI, en dicha clasificación el distrito de San Martín de Porres se encuentra en el estrato medio. La distribución distrital de la población por estratos se analizó por los centros poblados del distrito y se les agrupó de la siguiente manera:

Las Urbanizaciones y el Cercado como estrato medio, representan el 80% del distrito (59,679 viviendas). Las Asociaciones y Cooperativas de Vivienda como estrato bajo, representan el 12% del distrito (8,952 viviendas). Pueblos jóvenes y Centros poblados rurales como estrato muy bajo, representan el 8% del distrito (5,968 viviendas).

De estas zonas se consideraron para el estudio⁹².

Estrato medio:

Urbanización Palao.

Estrato bajo:

Urbanización Perú

Estrato muy bajo:

A.H. 12 de Agosto.

4.23.1 Resultados del estudio.

Generación Per. Cápita de residuos sólidos.- la producción Per. Cápita de residuos sólidos domiciliarios del distrito es de 0.610 Kg./hab./día y ha sido determinado considerando el promedio ponderado de los

⁹²Generación y Caracterización de los Residuos Sólidos del Cono Norte de Lima ALTERNATIVA

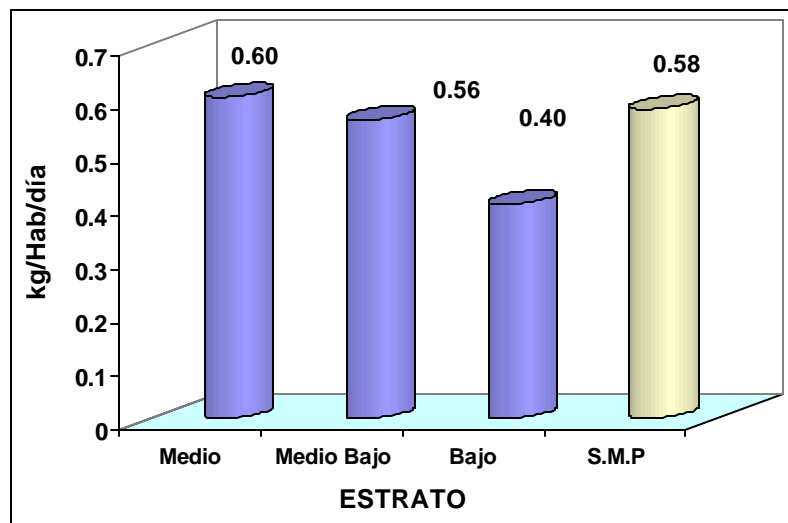
resultados de la generación per.-cápita de los tres estratos hallados en el trabajo de campo.

Tabla N° 4.24 Generación Per. Capita por Estratos.

Estrato	PPC (Kg./hab.-día)
Medio	0.670
Bajo	0.600
Muy bajo	0.560
Promedio Distrital	0.610

Como se observa en la Tabla N° 4.24 el promedio de la generación per. Capita de los residuos sólidos por estrato para el distrito de SMP es de 0,610 Kg./hab.-día, siendo el estrato medio el que mayor producción presenta en el distrito

Grafico N° 4.22 Generación Per. Capita de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de S.M.P.

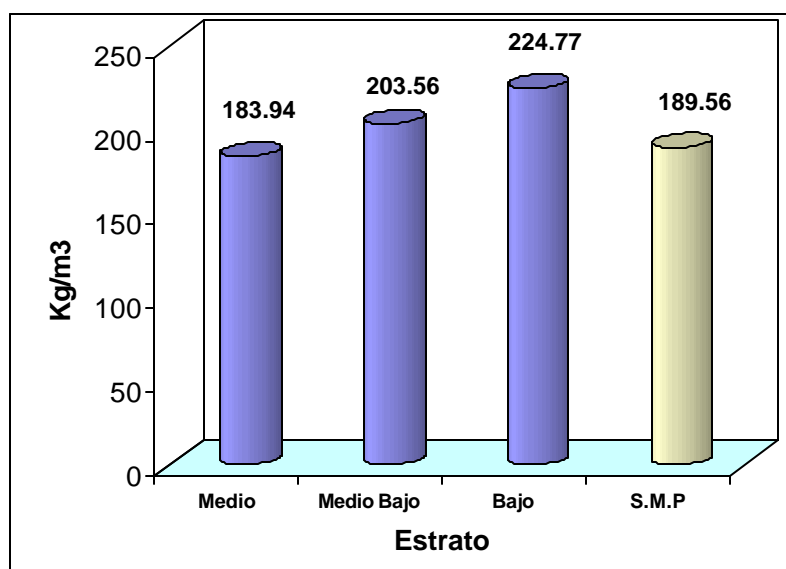


Para el cálculo de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios; obtuvimos una densidad resultante hallada de 189.557 Kg./m³

Tabla N° 4.25 Densidad de los Residuos por Estratos

Estrato	Densidad (Kg./ m ³)
Medio	183.936
Bajo	203.560
Muy bajo	224.768
Promedio Distrital	189.557

Grafico N° 4.23 Densidad de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de S.M.P (Kg. /m³).



La densidad de los residuos en San Martín de Porres varia entre 224,77 kg./m³ en el estrato bajo y 183,94 kg./m³ en el estrato medio siendo el promedio distrital de 189,56 kg./m³

Tabla N° 4.26 Porcentaje de humedad de los residuos sólidos domiciliarios del distrito de S.M.P.

ESTRATO	MEDIA PONDERADA
PROMEDIO	56.22

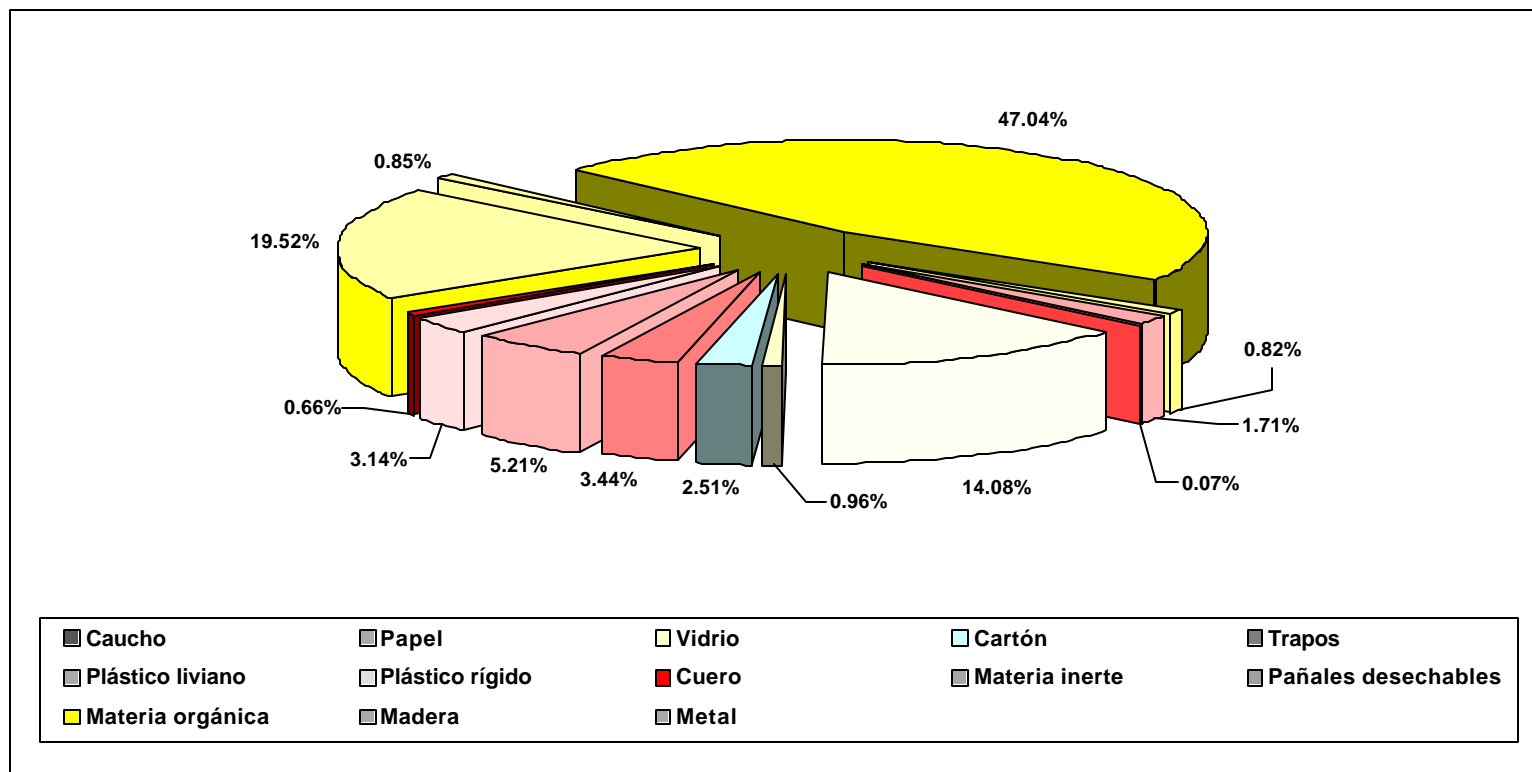
La humedad de los residuos sólidos domiciliarios de acuerdo a los resultados de laboratorio para el distrito de San Martín de Porres nos presentan una humedad del 56.22%.

La composición física de los residuos sólidos domiciliarios producto de la separación y análisis realizados sobre las muestras obtenidas se tiene que en el distrito destaca el mayor porcentaje de la materia orgánica en 47.06%, papel 14,09% y plásticos en general de 8,35% como se observa en la Tabla N° 4.27

Tabla N° 4.27 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio- económico del Distrito de S.M.P.

COMPONENTES	MEDIO %	BAJO %	MUY BAJO %	MEDIA PONDERADA
Papel	15.11	10.01	11.88	14.09
Cartón	2.57	2.25	1.82	2.51
Trapos	4.03	1.07	3.67	3.44
Plástico liviano	5.57	3.75	8.77	5.21
Plástico rígido	3.29	2.52	1.87	3.14
Metal	1.69	1.77	2.54	1.71
Vidrio	0.78	1.68	2.90	0.96
Caucho	0.00	0.36	1.67	0.07
Cuero	0.76	0.28	1.97	0.66
Madera	1.03	0.00	0.78	0.82
Pañales desechables	0.43	2.54	1.01	0.85
Materia inerte	19.77	12.59	16.26	16.20
Materia orgánica	46.03	51.18	34.86	47.06

Grafico N° 4.25 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio- económico del Distrito de San Martín de Porres ⁹³.



⁹³ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

4.8 Generación y Caracterización De Los Residuos Sólidos Domiciliarios en el Distrito de Ventanilla.

Se consideró los estratos socio-económico: medio, bajo y muy bajo, sobre la base de la clasificación urbana de Lima Metropolitana, según las características socio económicas determinada por el INEI, en dicha clasificación el distrito de Ventanilla se encuentra en el estrato medio

Estratificación socio económica del distrito de Ventanilla

El distrito de Ventanilla esta conformado por 42 PP.JJ, 8 Urbanizaciones, 4 Asoc. de Vivienda y una Coop. de Vivienda. Cuenta con un sólo Centro Poblado Rural. La distribución distrital de la población por estratos se analizó por los centros poblados del distrito y se les agrupó de la siguiente manera:

Las Urbanizaciones como estrato medio, representan el 24.26% del distrito (6,163 viviendas). Las Asociaciones y Cooperativas de Vivienda como estrato bajo, representan el 11.15% del distrito (2,832 viviendas).

Pueblos jóvenes y Centros poblados rurales como estrato muy bajo, representan el 64.59% del distrito (16,408 viviendas).

De estas zonas se consideraron para el estudio⁹⁴:

Estrato medio:

Ciudad del Deporte (Antonio Moreno de Cáceres) Mz. T,F,G, Tercer Sector Mz.V,W,F,F2,J,N,Q,W, Quinto Sector Mz. C, B, L, I. Urb. Pedro Cueva II Etapa Mz. N, O y la Urb. Satélite de Ventanilla, Mz. 69, 70, 71, 73,y 74.

Estrato medio bajo:

Av. Angamos III Etapa Mz. R5, R4, R3, T7. Urb. Los Licenciados Mz. N5, Q5, R5, S5. Ex Zona Comercial Mz C12.

⁹⁴ Generación y Caracterización de los Residuos Sólidos del Cono Norte de Lima ALTERNATIVA

Estrato bajo:

AA. HH. Kenji Fujimori Mz. A, F, P, G, O, C, Cooperativa Mz. B. AA. HH
Susana Higuchi M, N, K, Q, Z. AA.HH Kumamoto Mz. P y Q.

4.8.1 Resultados del estudio.

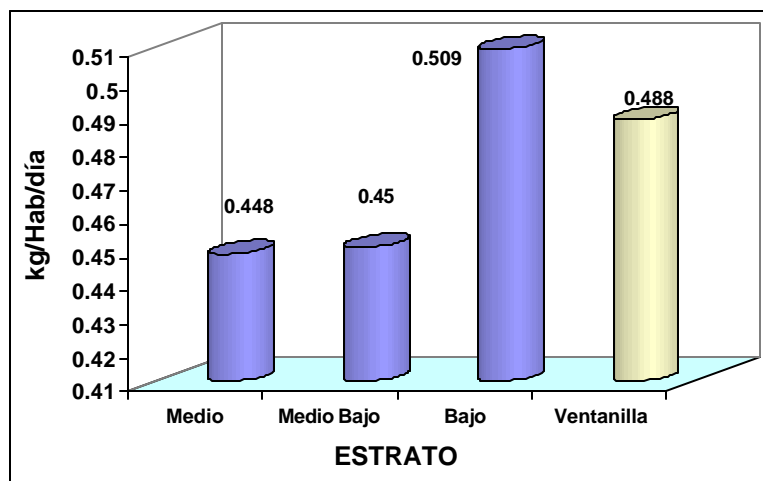
La generación Per. Cápite de residuos sólidos domiciliarios del distrito es de 0.488 Kg./hab.-día y ha sido determinado considerando el promedio ponderado de los resultados de la generación Per. Cápite de los tres estratos hallados en el trabajo de campo

Tabla Nº 4.28 Generación Per. Capita por Estratos

Estrato	PPC (Kg./hab.-día)
Medio	0.448
Medio Bajo	0.450
Bajo	0.509
Promedio Distrital	0.488

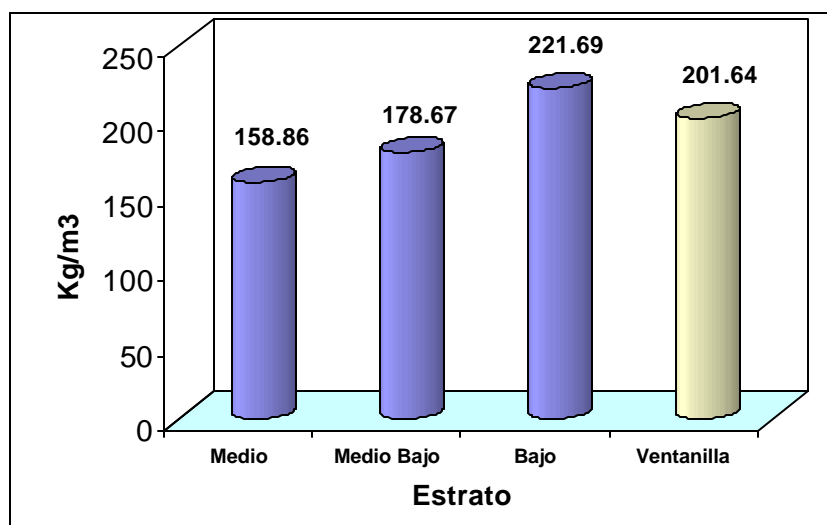
Como se observa en la Tabla Nº 4.28 el promedio de la generación per. Capita de los residuos sólidos por estrato para el distrito de Ventanilla es de 0,488 Kg. /hab.-día, siendo el estrato bajo el que mayor producción presenta en el distrito

GRAFICO Nº 4.25 Generación Per. Capita de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Ventanilla.



Para el calculo de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios; obtuvimos una densidad resultante hallada de 201.64 Kg. /m³.

Tabla Nº 4.29 Densidad de los Residuos por Estratos en el distrito de Ventanilla.



La densidad de los residuos en Ventanilla varía entre 221,69 kg. /m³ en el estrato bajo y 158.86 kg. /m³ en el estrato medio siendo el promedio distrital de 201,64 kg. /m³

Grafico Nº 4.26 Densidad de los Residuos Sólidos domiciliarios por estratos del Distrito de Ventanilla (Kg. /m³).

Estrato	Densidad (Kg./ m ³)
Medio	158.86
Medio Bajo	178.67
Bajo	221.69
Promedio Distrital	201.64

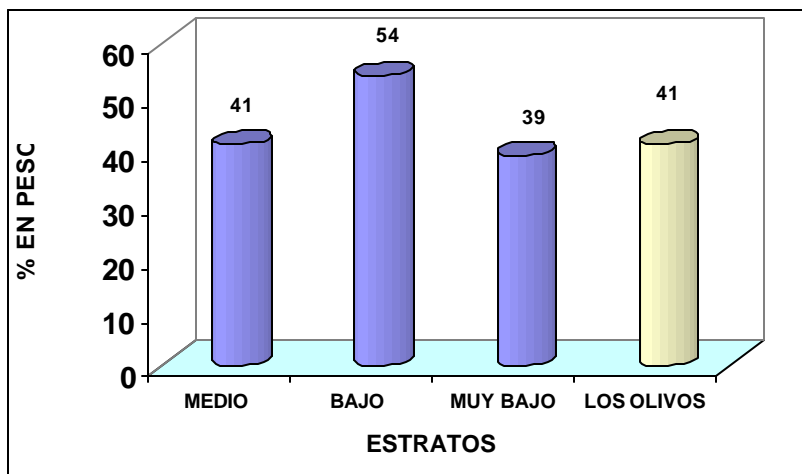
La humedad de los residuos sólidos domiciliarios de acuerdo a los resultados de laboratorio los residuos sólidos domiciliarios en Ventanilla presentan una humedad del 67.38%.

Tabla N° 4.30 Porcentaje de humedad de los residuos sólidos domiciliarios por Estrato Socio-económico del distrito de Ventanilla 2000.

FECHA DE MUESTRO	MEDIO %	MEDIO BAJO %	BAJO %	MEDIA PONDERADA
17/08/1999	34	52	38	39
19/08/1999	29	49	31	33
21/09/1999	59	62	49	53
PROMEDIO	41	54	39	41

Según la tabla N° 4.30 la Humedad de los residuos sólidos domiciliarios en Ventanilla varia en promedio de 46.5% en el estrato muy bajo a 54 % en el estrato medio siendo el promedio de 51.05%⁹⁵.

Grafico N° 4.27 Porcentaje de Humedad de los Residuos Sólidos por estratos del Distrito de Ventanilla (% en peso).



La composición física de los residuos sólidos domiciliarios de la separación y análisis realizados sobre las muestras obtenidas se tiene que en el distrito destaca el mayor porcentaje de la materia orgánica

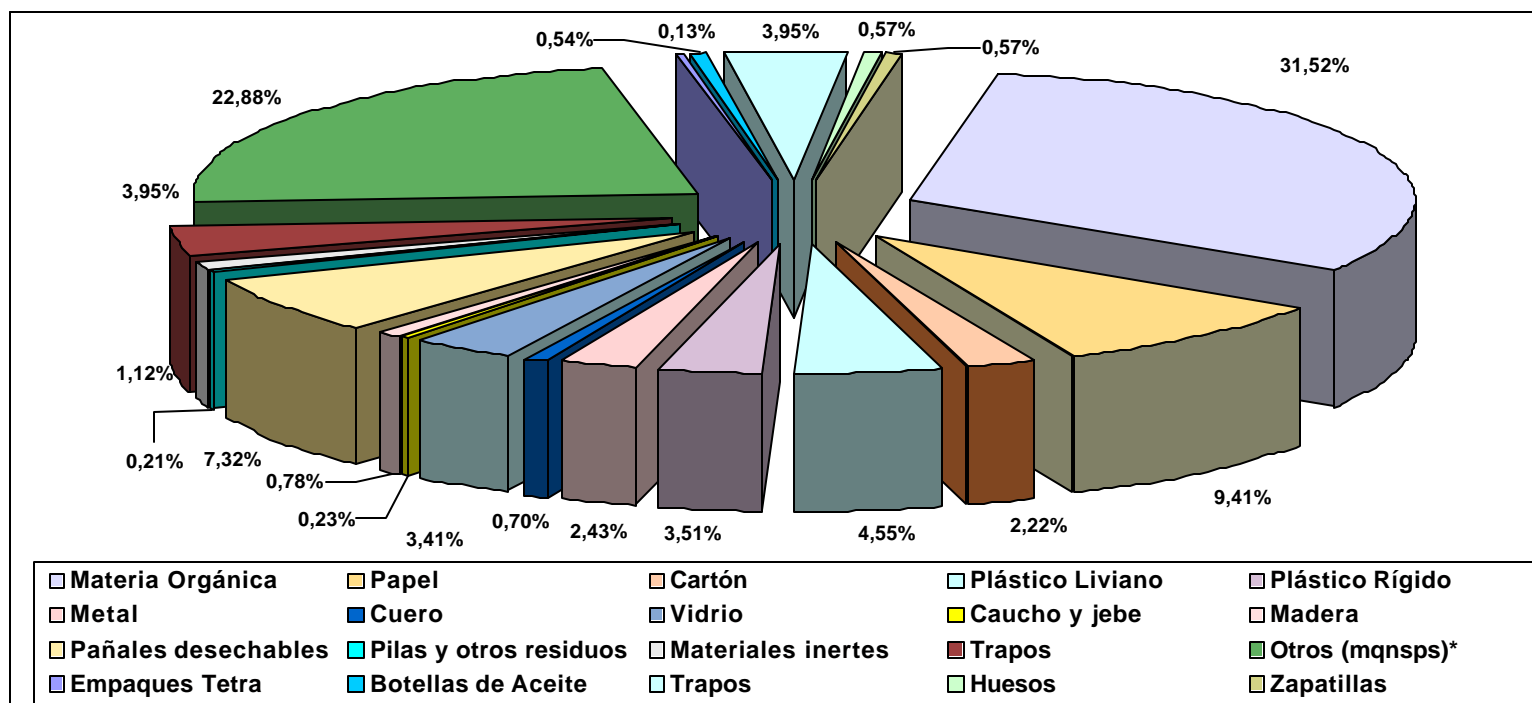
⁹⁵ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

en 29.88% y el papel en 8.92%. y plásticos en general de 7,63% como se observa en la Tabla N° 4.31

Tabla N° 4.31 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio- económico del Distrito de Ventanilla 2000.

COMPONENTES	MEDIO %	MEDIO BAJO %	BAJO %	MEDIA PONDERADA
Materia Orgánica	40,69	29,41	25,90	29,879
Papel	15,93	11,61	5,82	8,922
Cartón	2,68	2,71	1,78	2,103
Plástico Liviano	4,70	4,97	4,06	4,318
Plástico Rígido	3,75	3,77	3,09	3,324
Botellas de Aceite	0,80	0,74	0,37	0,515
Empaques Tetra	0,22	0,26	0,07	0,127
Metal	2,34	1,96	2,34	2,299
Vidrio	3,34	1,03	3,56	3,228
Caucho y jebe	0,74	0,31	0,01	0,222
Cuero	0,00	1,15	0,84	0,668
Madera	0,60	0,59	0,82	0,737
Huesos	0,46	0,99	0,49	0,538
Pañales desechables	2,68	5,38	8,81	6,942
Trapos	4,01	4,94	3,44	3,742
Pilas y otros residuos	0,18	0,32	0,18	0,195
Zapatillas	0,19	0,16	0,74	0,539
Materiales inertes	0,46	2,16	1,11	1,066
Finos (menos de 2mm)	2,73	7,02	11,61	8,945
Otros (mqnsps)*	13,50	20,51	24,97	21,691

Grafico N° 4.28 Composición Física de Residuos Sólidos Domiciliarios por Estrato Socio-económico del Distrito de Ventanilla 2000⁹⁶.



⁹⁶ Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000

4.9 Producción y clasificación de los residuos sólidos por distritos en el cono norte de lima metropolitana.

Se realizó un estudio en 8 de los distritos existentes en el cono norte de la ciudad de Lima; estos estudios permitieron determinar la cantidad de residuos útiles que producen cada uno de los distritos seleccionados para el estudio; se obvió el distrito de Santa Rosa debido a su menor población y baja producción de residuos, así mismo por el poco desarrollo e información que dispone el distrito sobre la Gestión en Residuos Sólidos Domiciliarios.

Para el cálculo de la producción de residuos sólidos domésticos, el cuál es una variable que depende básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas necesitamos conocer la variable necesaria para dimensionar el sitio de disposición final, la cual es la llamada Producción Per. Cápita (PPC), la cual es uno de los parámetros que asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo; siendo la unidad de expresión el kilogramo por habitante por día (Kg./hab./día).

Tomando en consideración lo anterior se efectuó una estimación teórica de la PPC en función de las estadísticas de recolección de un trabajo realizado por la ONG ALTERNATIVA en los años 1989 1995 y 1999; donde se tomo en cuenta los siguientes aspectos:

- Tasa de crecimiento poblacional
- Número de personas por familia
- Total de generación de residuos sólidos domiciliarios por distrito.

Los valores utilizados en este estudio fueron tomados del trabajo realizado por la ONG ALTERNATIVA la cual empleo la formula 3.15 la cual es una relación del peso de la muestra entre el número de habitantes, para el calculo de la densidad de los residuos sólidos en cada uno de los distritos del cono Norte de Lima se procedió a recopilar información de los 3 últimos estudios realizados por la ONG Alternativa en

los años 1989 1995 y 1999; así mismo, se empleo el criterio de estimación realizado por ellos, el cual abarco ciertos parámetros (ingreso neto Per. Cápita por familia en cada distrito, crecimiento poblacional de cada distritos, variación de la canasta familiar, hábitos de consumo, otros) correspondientes a cada una de las diferentes zonas en donde se realizaron los estudios, para luego proceder a realizar las proyecciones para los años 2000 y 2004.

Empleando la formula 3.17, se calcula el contenido de Humedad en porcentaje de los residuos sólidos en cada uno de los distritos del cono Norte de Lima, considerando la relación entre peso inicial de la muestra recolectada y el peso de la muestra después de secarse, esta formula fue aplicada por la ONG Alternativa para un estudio realizado entre los año 1998-1999; Para el presente estudio se empleo los valores teóricos de la Tabla N° 3.3 los cuales nos muestran los datos típicos de contenido de humedad para residuos sólidos domésticos en un diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe realizado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS entre los años 2000-2001.

Para la determinación de la composición y clasificación de los residuos sólidos se tomo en cuenta la siguiente metodología para la elaboración del programa de caracterización empleado en este estudio.

- Análisis de la distribución de la población por estratos socio-económicos.
- Determinación del número de muestras por estratos.
- Procedimiento para las encuestas de recolección de residuos.
- Calculo de la producción Per.-capita y la densidad.
- Análisis de la composición Física de los residuos por estratos socio-económicos.

4.10 Cálculo de la humedad por cada uno de los distritos del cono norte.

Para calcular la humedad promedio total de los residuos se procedió a utilizar la Tabla N° 3.2 donde tenemos los valores de los datos típicos sobre peso específico, la Tabla N° 3.3 nos muestra los valores de contenido de humedad para residuos domésticos comerciales, industriales y agrícolas, siendo solo importantes para nosotros el primero, luego con la ecuación N° 3.17 determinamos el contenido de Humedad para cada uno de los distritos.

Tabla N° 4.32 Cálculo de la Humedad para el distrito de Ancón.

<i>Ancón</i>	Porcentaje en Peso (pt)	Contenido humedad teórico % (h)	(P.D.- h) Peso Seco Kg.
<i>Materiales Orgánicos</i>			
Materia Orgánica	27,14	70	8,142
Papel	8,50	6	7,99
Cartón	3,01	5	2,8595
Plástico Liviano	7,18	2	7,0364
Plástico Rígido	3,15	2	3,087
Empaques Tetra	0,17	5	0,1615
Caucho y jebe	0,35	2	0,343
Cuero	0,20	10	0,18
Madera	0,75	20	0,6
Huesos	0,32	0	0
Zapatillas	1,48	2	1,4504
Trapos	2,39	10	2,151
<i>Materiales Inorgánicos</i>			
Metal	2,31	3	2,2407
Vidrio	2,49	2	2,4402
Pilas y otros residuos	0,17	0,00	0
Pañales desechables	7,74	0,00	0
Materiales inertes	0,11	10	0,099
Finos (menos de 2mm)	10,15	6	9,541
Otros (mqnsp)*	22,39	2	21,9422
	100,00		34.001

Empleando la fórmula N° 3.17 se obtiene el contenido de humedad en porcentaje para el distrito de Ancón en 66.00%.

Tabla N° 4.33 Cálculo de la Humedad para el distrito de Carabayllo.

<i>Carabayllo</i>	Porcentaje En Peso (Pt.)	Contenido de humedad teórico % (h)	(Pt. - h) Peso Seco Kg.
<i>Materiales Orgánicos</i>			
Materia orgánica	32,72	70	9,816
Papel	11,24	6	10,5656
Cartón	2,29	5	2,1755
Plástico liviano	6,83	2	6,6934
Plástico rígido	3,00	2	2,94
Zapatillas	0,67	2	0,6566
Botellas de aceite	0,35	2	0,343
Empaques tetra	0,12	5	0,114
Cuero	0,62	10	0,558
Trapos	5,16	10	4,644
Madera	0,76	20	0,608
<i>Materiales Inorgánicos</i>			
Metal	2,32	3	2,2504
Vidrio	2,29	2	2,2442
Pañales desechables	6,30	0	0
Pilas y otros peligros	0,12	0	0
Materiales inerte	18,64	10	16,776
Finos (menor a 2mm)	6,45	6	6,063
Otros	0,12	2	0,1176
	100,00		39.114

Empleando la formula N° 3.17 se obtiene el contenido de humedad en porcentaje para el distrito de Carabayllo en 60.89%.

Tabla N° 4.34 Cálculo de la Humedad para el distrito de Comas.

<i>Comas</i>	Porcentaje en Peso (Pt.)	% de humedad teórico (h)	(Pt. - h) Peso Seco Kg.
<i>Materiales Orgánicos</i>			
Materia orgánica	34,26	70	10,278
Papel	11,12	6	10,4528
Cartón	2,96	5	2,812
Trapos	3,39	10	3,051
Plástico liviano	8,20	2	8,036
Plástico rígido	3,83	2	3,7534
Caucho	1,92	2	1,8816
Cuero	1,21	10	1,089
Madera	3,11	20	2,488
<i>Materiales Inorgánicos</i>			
Materia inerte	22,51	10	20,259
Pañales desechables	2,51	0	0
Metal	2,73	3	2,6481
Vidrio	2,25	2	2,205
	100,00		43,802

De a formula N° 3.17 se obtiene el contenido de humedad en porcentaje para el distrito de Comas en 56.20%.

Tabla N° 4.35 Cálculo de la Humedad para el distrito de Independencia.

<i>Independencia</i>	Porcentaje En Peso (Pt.)	Contenido de humedad teórico % (h)	(Pt. - h) Peso Seco Kg.
<i>Materiales Orgánicos</i>			
Materia orgánica	41,46	70	12,438
Papel	10,26	6	9,6444
Cartón	2,90	5	2,755
Plástico liviano	5,11	2	5,0078
Plástico rígido	3,00	2	2,94
Botellas de aceite	0,39	2	0,3822
Zapatillas	1,02	2	0,9996
Empaques tetra	0,08	2	0,0784
Caucho y jebe	0,19	10	0,171
Cuero	0,91	10	0,819
Trapos	4,09	10	3,681
Madera	1,09	20	0,872
Huesos	0,84	0	0
<i>Materiales Inorgánicos</i>			
Metal	2,71	3	2,6287
Pañales desechables	5,55	0	0
Vidrio	2,37	2	2,3226
Pilas y otros peligros	0,42	0	0
Materiales inerte	3,84	10	3,456
Finos (menor a 2mm)	5,97	6	5,6118
Otros	7,80	2	7,644
	100,00		39,7884

Empleando la formula N° 3.17 se obtiene el contenido de humedad en porcentaje para el distrito de Independencia en 60.21%.

Tabla Nº 4.36 Cálculo de la Humedad para el distrito de Los Olivos.

<i>Los Olivos</i>	Porcentaje en Peso (Pt.)	Contenido de humedad teórico % (h)	(Pt.- h) Peso Seco Kg.
<i>Materiales Orgánicos</i>			
Materia orgánica	41,86	70	12,558
Cartón	2,89	5	2,7455
Plástico liviano	5,11	2	5,0078
Plástico rígido	4,29	2	4,2042
Papel	3,39	6	3,1866
Trapos	2,08	10	1,872
Madera	4,15	20	3,32
<i>Materiales Inorgánicos</i>			
Materia inerte	10,31	10	9,279
Metal	3,51	3	3,4047
Vidrio	3,37	2	3,3026
	80.96		32,894

Empleando la formula Nº 3.17 se obtiene el contenido de humedad en porcentaje para el distrito de los Olivos en 59.37%.

Tabla Nº 4.37 Cálculo de la Humedad para el distrito de Puente Piedra.

<i>Puente Piedra</i>	Porcentaje en Peso (Pt.)	Contenido de humedad teórico % (h)	(Pt.- h) Peso Seco Kg.
<i>Materiales Orgánicos</i>			
Materia orgánica	28,03	70	8,409
Papel	6,21	6	5,837
Cartón	3,01	5	2,860
Trapos	3,98	10	3,582
Plástico liviano	6,02	2	5,900
Plástico rígido	3,83	2	3,753
Caucho	0,49	2	0,480
Cuero	3,00	10	2,700
Madera	0,26	20	0,208
Materiales inorgánicos			
Pañales desechables	2,05	0	0,000
Materia inerte	38,33	10	34,497
Metal	2,12	3	2,056
Vidrio	1,87	2	1,833
	99,20		33.7291

Empleando la formula Nº 3.17 se obtiene el contenido de humedad en porcentaje para el distrito de Puente Piedra en 65.99%.

Tabla Nº 4.38 Cálculo de la Humedad para el distrito de San Martín Porres.

San Martín de Porres	Porcentaje En Peso (Pt.)	Contenido de humedad teórico % (h)	(Pt- h) Peso Seco Kg.
Materiales Orgánicos			
Materia orgánica	47,06	70	14,118
Papel	14,09	6	13,2446
Cartón	2,51	5	2,3845
Trapos	3,44	10	3,096
Plástico liviano	5,21	2	5,1058
Plástico rígido	3,14	2	3,0772
Caucho	0,07	2	0,0686
Cuero	0,66	10	0,594
Madera	0,82	20	0,656
Materiales Inorgánicos			
Pañales desechables	0,85	0	0
Materia inerte	16,20	10	14,58
Metal	1,71	2	1,6758
Vidrio	0,96	2	0,9408
	96,72		42.345

Empleando la formula Nº 3.17 se obtiene el contenido de humedad en porcentaje para el distrito de San Martín de Porres en 56.22%.

Tabla Nº 4.39 Cálculo de la Humedad para el distrito de Ventanilla.

Ventanilla	Porcentaje en Peso (Pt.)	% de humedad teórico % (h)	(Pt- h) Peso Seco Kg.
Materiales Orgánicos			
Materia Orgánica	29,88	70	8,964
Papel	8,92	6	8,3848
Cartón	2,10	5	1,995
Plástico Liviano	4,32	2	4,2336
Plástico Rígido	3,32	2	3,2536
Botellas de Aceite	0,52	2	0,5096
Zapatillas	0,54	2	0,5292
Empaques Tetra	0,13	5	0,1235
Trapos	3,74	10	3,366
Cuero	0,67	10	0,603
Madera	0,74	20	0,592
Huesos	0,54	0	0
Materiales Inorgánicos			
Pañales desechables	6,94	0	0
Metal	2,30	3	2,231
Pilas y otros residuos	0,20	0	0
Vidrio	3,23	2	3,1654
Materiales inertes	1,07	10	0,963
Finos (menos de 2mm)	8,95	6	8,413
Otros (mqnsps)*	21,69	2	21,2562
	99,78		32,5543

Empleando la formula N° 3.17 se obtiene el contenido de humedad en porcentaje para el distrito de Ventanilla en 67.38%.

4.11 Cálculo del peso seco de los residuos sólidos por componente en los distritos del cono norte de Lima metropolitana.

En el método de medición para el peso húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso seco del material.

A continuación se desarrollará el porcentaje de peso seco que se encuentra en el promedio de residuos de cada uno de los distritos del estudio.

Tabla N° 4.40 Cálculo del peso seco para el distrito de Ancón.

ANCON	Porcentaje en Peso (Pt.)	Contenido de humedad teórico % (h)	(Pt.- h) Peso Seco Kg.
Materia Orgánica	0,12376	0,30	0,0371
Papel	0,03876	0,94	0,0364
Cartón	0,01373	0,95	0,0130
Plástico Liviano	0,03274	0,98	0,0321
Plástico Rígido	0,01436	0,98	0,0141
Botellas de Aceite	0,01436	0,98	0,0141
Empaques Tetra	0,00078	0,95	0,0007
Caucho y jebe	0,00160	0,98	0,0016
Cuero	0,00091	0,90	0,0008
Madera	0,00342	0,80	0,0027
Huesos	0,00146	0,30	0,0004
Zapatillas	0,00675	0,98	0,0066
Trapos	0,01090	0,90	0,0098
TOTAL	0,26352		0,1696

De 0.456 Kg. de residuos correspondiente al distrito de Ancón, 0.264 Kg. corresponde al peso húmedo y 0.1696 Kg. al peso seco.

Tabla Nº 4.41 Cálculo del peso seco para el distrito de Carabayllo.

Carabayllo	Peso Húmedo	% de Humedad	Peso Seco
Materia Orgánica	0,17238	0,30	0,1620
Papel	0,05137	0,94	0,0488
Cartón	0,01047	0,95	0,0103
Plástico Liviano	0,03121	0,98	0,0306
Plástico Rígido	0,01371	0,98	0,0134
Botellas de Aceite	0,00160	0,98	0,0015
Empaques Tetra	0,00055	0,95	0,0005
Cuero	0,00283	0,90	0,0023
Madera	0,00347	0,80	0,0028
Zapatillas	0,00306	0,98	0,0028
Trapos	0,02358	0,90	0,0212
TOTAL	0,31423		0,2962

Del 0.457 Kg. de residuos correspondiente al distrito de Ancón, 0.314 Kg. corresponde al peso húmedo y 0.2962 Kg. al peso seco.

Tabla Nº 4.42 Cálculo del peso seco para el distrito de Comas.

Comas	Peso Húmedo	% de Humedad	Peso Seco
Materia Orgánica	0,16582	0,30	0,1559
Papel	0,05382	0,94	0,0511
Cartón	0,01433	0,95	0,0136
Plástico Liviano	0,03969	0,98	0,0389
Plástico Rígido	0,01854	0,98	0,0182
Empaques Tetra	0,00082	0,95	0,0008
Caucho y jebe	0,00929	0,98	0,0084
Cuero	0,00586	0,90	0,0047
Madera	0,01505	0,80	0,0120
Trapos	0,01641	0,90	0,0148
TOTAL	0,33962		0,3183

Del 0.484 Kg. de residuos correspondiente al distrito de Comas, 0.339 Kg. corresponde al peso húmedo y 0.3183 Kg. al peso seco.

Tabla Nº 4.43 Cálculo del peso seco para el distrito de Independencia.

Independencia	Peso Húmedo	% de Humedad	Peso Seco
Materia Orgánica	0,18159	0,30	0,1707
Papel	0,04507	0,94	0,0428
Cartón	0,01270	0,95	0,0124
Plástico Liviano	0,02238	0,98	0,0219
Plástico Rígido	0,01314	0,98	0,0129
Botellas de Aceite	0,00171	0,98	0,0016
Empaques Tetra	0,00035	0,95	0,0003
Caucho y jebe	0,00083	0,98	0,0007
Cuero	0,00399	0,90	0,0032
Madera	0,00477	0,80	0,0038
Huesos	0,00368	0,00	0,0000
Zapatillas	0,00447	0,98	0,0040
Trapos	0,01791	0,90	0,0161
TOTAL	0,31260		0,2906

Del 0.438 Kg. de residuos correspondiente al distrito de Independencia, 0.313 Kg. corresponde al peso húmedo y 0.291 Kg. al peso seco.

Tabla Nº 4.44 Cálculo del peso seco para el distrito de Los Olivos.

Los olivos	Peso Húmedo	% de Humedad	Peso Seco
Materia Orgánica	0,24321	0,30	0,2286
Papel	0,01970	0,94	0,0187
Cartón	0,01679	0,95	0,0165
Plástico Liviano	0,02969	0,98	0,0291
Plástico Rígido	0,02492	0,98	0,0244
Madera	0,02411	0,80	0,0193
Trapos	0,01208	0,90	0,0109
TOTAL	0,37050		0,3475

Del 0.581 Kg. de residuos correspondiente al distrito de Los Olivos, 0.370 Kg. corresponde al peso húmedo y 0.348 Kg. al peso seco.

Tabla Nº 4.45 Cálculo del peso seco para el distrito de Puente Piedra.

Puente Piedra	Peso Húmedo	% de Humedad	Peso Seco
Materia Orgánica	0,12473	0,30	0,1172
Papel	0,02763	0,94	0,0263
Cartón	0,01339	0,95	0,0131
Plástico Liviano	0,02679	0,98	0,0263
Plástico Rígido	0,01704	0,98	0,0167
Caucho y jebe	0,00218	0,98	0,0020
Cuero	0,00134	0,90	0,0011
Madera	0,00116	0,80	0,0009
Trapos	0,01771	0,90	0,0159
TOTAL	0,23198		0,2195

Del 0.445 Kg. de residuos correspondiente al distrito de Puente Piedra, 0.232 Kg. corresponde al peso húmedo y 0.219 Kg. al peso seco.

Tabla Nº 4.46 Cálculo del peso seco para el distrito de San Martín de Porres.

SMP	Peso Húmedo	% de Humedad	Peso Seco
Materia Orgánica	0,27342	0,30	0,2570
Papel	0,08157	0,94	0,0775
Cartón	0,01458	0,95	0,0143
Plástico Liviano	0,03027	0,98	0,0297
Plástico Rígido	0,01824	0,98	0,0179
Caucho y jebe	0,00041	0,98	0,0004
Cuero	0,00383	0,90	0,0031
Madera	0,00476	0,80	0,0038
Trapos	0,01999	0,90	0,0180
TOTAL	0,44708		0,4216

Del 0.581 Kg. de residuos correspondiente al distrito de San Martín de Porres, 0.447 Kg. corresponde al peso húmedo y 0.422 Kg. al peso seco.

Tabla N° 4.47 Cálculo del peso seco para el distrito de Ventanilla.

Ventanilla	Peso Húmedo	% de Humedad	Peso Seco
Materia Orgánica	0,14581	0,30	0,1371
Papel	0,04353	0,94	0,0414
Cartón	0,01025	0,95	0,0100
Plástico Liviano	0,02108	0,98	0,0207
Plástico Rígido	0,01620	0,98	0,0159
Botellas de Aceite	0,00254	0,98	0,0024
Empaques Tetra	0,00083	0,95	0,0008
Cuero	0,00327	0,90	0,0026
Madera	0,00361	0,80	0,0029
Huesos	0,00264	0,00	0,0000
Zapatillas	0,00264	0,98	0,0024
Trapos	0,01825	0,90	0,0164
TOTAL	0,27064		0,2525

Del 0.488 Kg. de residuos correspondiente al distrito de Ventanilla, 0.271 Kg. corresponde al peso húmedo y 0.253 Kg. al peso seco.

4.12 Determinación del contenido de la composición química de los residuos sólidos.

El análisis elemental de la composición química de los residuos normalmente implica la determinación del porcentaje de C (carbono), H (hidrogeno), O (oxigeno), N (nitrógeno), S (azufre) y cenizas. Debido a la problemática que existe acerca de la emisión de compuestos clorados durante la combustión, frecuentemente se incluye la determinación de halógenos en el análisis elemental. Los resultados del análisis elemental se utilizan para caracterizar la composición química de la materia orgánica en los RSD. También se usan para definir la mezcla correcta de materiales residuales necesaria para conseguir relaciones C/N aptas para los procesos de conversión biológica; los datos que se tomarán como referencia sobre el análisis elemental de materiales combustibles individuales se muestran en la Tabla N° 4.50⁹⁷. Así mismo los datos representativos para los componentes típicos de los RSD en América Latina se muestran en la Tabla N° 4.51⁹⁸.

⁹⁷ Gestión Integral de Residuos Sólidos George Tchobanoglous

⁹⁸ Congreso Mundial ISWA 2005: Hacia un Sistema Integral de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos; Buenos Aires, 6-10 nov. 2005

TABLA 4.48 Datos típicos sobre el análisis elemental del material combustible presente en los residuos sólidos domésticos

Tipos de Residuos	Porcentajes en peso (Base Seca)					
	C	H	O	N	S	Cenizas
Comida y productos de comida						
Grasas	73.0	11.5	14.8	0.4	0.1	0.2
Residuos de comida (mezclados)	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Residuos de frutas	48.5	6.2	39.5	1.4	0.2	4.2
Residuos de carne	59.6	9.4	24.7	1.2	0.2	4.9
Productos de papel						
Cartón	43.0	5.9	44.8	0.3	0.2	5.0
Revistas	32.9	5.0	38.6	0.1	0.1	23.3
Papel periódico	49.1	6.1	43.0	<0.1	0.2	1.5
Papel (mezclados)	43.4	5.8	44.3	0.3	0.2	6.0
Cartones encerados	59.2	9.3	30.1	0.1	0.1	1.2
Plásticos						
Plásticos (mezclados)	60.0	7.2	22.8	—	—	10.0
Poliétileno	85.2	14.2	—	<0.1	<0.1	0.4
Poliestireno	87.1	8.4	4.0	0.2	—	0.3
poliuretano ^a	63.3	6.3	17.6	60.	<0.1	4.3
policloruro de vinilo ^a	45.2	5.6	1.6	0.1	0.1	2.0
Textiles, goma, cuero						
Textiles	48.0	6.4	40.0	2.2	0.2	3.2
Goma	69.7	8.7	—	—	1.6	20.0
Cuero	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Madera, árboles, etc.						
Residuos de jardín.	46.0	6.0	38.0	3.4	0.3	6.3
Madera (verde).	50.1	6.4	42.3	0.1	0.1	1.0
Madera dura.	49.6	6.1	43.2	0.1	<0.1	0.9
Madera mezclada.	49.5	6.0	42.7	0.2	<0.1	1.5
Viruta de madera (mezclada).	48.1	5.8	45.5	0.1	<0.1	0.4
Vidrio, metales, etc.						
Vidrio y mineral ^b	0.5	0.1	0.4	<0.1	—	98.9
Metales (mezclados) ^b	4.5	0.6	4.3	<0.1	—	90.5
Misceláneos						
Desechos de oficina	24.3	3.0	4.0	0.5	0.2	68.0
Aceites, pinturas.	66.9	9.6	5.2	2.0	—	16.3
Combustibles derivados de residuos (CDR)	44.7	6.2	38.4	0.7	<0.1	9.9

^a El resto es cloro.

^b El contenido orgánico es de etiquetas, recubrimientos y otros materiales adjuntos.

TABLA 4.49 Datos del análisis de la composición química de los componentes combustibles en los RSD

Componentes	Porcentajes en peso (Base Seca)					
	C	H	O	N	S	Cenizas
Orgánicos						
Residuos de comida	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Papel	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
Cartón	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
Plásticos	60.0	7.2	22.8	—	—	10.0
Textiles	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
Goma	78.0	10.0	—	2.0	—	10.0
Cuero	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Residuos de jardín	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
Madera.	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
Inorgánicos						
Vidrio ^a .	0.5	0.1	0.4	<0.1	—	98.9
Metales ^a	4.5	0.6	4.3	<0.1	—	90.5
Suciedad, cenizas, etc.	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

4.13 Cálculo de análisis de la composición química elemental de los componentes combustibles en los residuos sólidos domésticos por distrito del cono norte.

Se procedió a construir una tabla de cálculo para determinar la distribución porcentual de los mayores elementos que componen los residuos, presentándose dichos cálculos para cada uno de los distritos en estudio.

La relación H/C en el proceso de la Combustión es la relación porcentual Hidrogeno Carbono de un combustible dado, cuanto mayor sea la relación H/C menor combustible será combustionado, mientras que cuando la relación $H/C > 0,2$ los combustibles serán considerados buenos para la combustión.

^a El contenido orgánico es de recubrimiento, etiquetas y otros materiales adjuntos.

Tabla 4.50 Relación H/C de algunos combustibles (Relación en Peso)⁹⁹.

Combustible	Relación H/C	Característica
H ₂	-----	Excelente
CH ₄	0,33	Bueno
C ₆ H ₁₄	0,19	Razonable
Óleo Combustible	0,12	Difícil
Gas Natural	0,28	Bueno
Carbón Mineral	0,08	Difícil
Gasolina	0,188	Razonable

Se observa en la Tabla N° 4.50 que el hidrogeno es un excelente combustible, así mismo el Metano y el Gas Natural que también se encuentran en el rango de buen combustible, a diferencia del Óleo Combustible y el Carbón Mineral que son difíciles según la relación H/C.

Tabla 4.51 Cálculo de análisis de la composición química elemental de los componentes en los Residuos Sólidos Domiciliarios del distrito de Ancón.

ANCON	Peso Seco	C	H	O	N	S	Cenizas
Materia Orgánica	0,0371	0,01782	0,00238	0,01396	0,000965	0,000149	0,00186
Papel	0,0364	0,01585	0,00219	0,01603	0,000109	0,000073	0,00219
Cartón	0,0130	0,00574	0,00077	0,00582	0,000039	0,000026	0,00065
Plástico Liviano	0,0321	0,01925	0,00231	0,00732	0,000000	0,000000	0,00321
Plástico Rígido	0,0141	0,00845	0,00101	0,00321	0,000000	0,000000	0,00141
Botellas de Aceite	0,0141	0,00845	0,00101	0,00321	0,000000	0,000000	0,00141
Empaques Tetra	0,0007	0,00032	0,00004	0,00033	0,000002	0,000001	0,00004
Caucho y jebe	0,0016	0,00122	0,00016	0,00000	0,000031	0,000000	0,00016
Cuero	0,0008	0,00049	0,00007	0,00010	0,000082	0,000003	0,00008
Madera	0,0027	0,00135	0,00016	0,00117	0,000005	0,000003	0,00004
Huesos	0,0004	0,00000	0,00000	0,00000	0,000000	0,000000	0,00000
Zapatillas	0,0066	0,00397	0,00048	0,00151	0,000000	0,000000	0,00066
Trapos	0,0098	0,00539	0,00065	0,00306	0,000451	0,000015	0,00025
TOTAL	0,1696	0,08830	0,01122	0,05570	0,001686	0,000270	0,01194
Promedio		0,5207945	0,0661839	0,328509	0,0099433	0,00159	0,070426

⁹⁹ Curso de Combustión Industrial-Óleo y Gas IPT Brasil

El promedio de los componentes se calcula del total de cada uno estos entre el total de peso seco de los residuos.

La relación de H/C se determina del promedio de estos elementos obteniendo que para el total de los residuos encontrados en el distrito de Ancón sería de 0.1271Kg., y si se emplea solo la materia orgánica dicha relación sería de 0.1337 Kg.

Tabla 4.52 Cálculo de análisis de la composición química elemental de los componentes en los Residuos Sólidos Domiciliarios del distrito de Carabayllo.

Carabayllo	Peso Seco	C	H	O	N	S	Cenizas
Materia Orgánica	0,1620	0,07778	0,01037	0,06093	0,004213	0,000648	0,00810
Papel	0,0488	0,02123	0,00293	0,02147	0,000146	0,000098	0,00293
Cartón	0,0103	0,00451	0,00061	0,00457	0,000031	0,000021	0,00051
Plástico Liviano	0,0306	0,01835	0,00220	0,00697	0,000000	0,000000	0,00306
Plástico Rígido	0,0134	0,00806	0,00097	0,00306	0,000000	0,000000	0,00134
Botellas de Aceite	0,0015	0,00091	0,00011	0,00035	0,000000	0,000000	0,00015
Empaques Tetra	0,0005	0,00023	0,00003	0,00023	0,000002	0,000001	0,00003
Cuero	0,0023	0,00136	0,00018	0,00026	0,000227	0,000009	0,00023
Madera	0,0028	0,00138	0,00017	0,00119	0,000006	0,000003	0,00004
Zapatillas	0,0028	0,00165	0,00020	0,00063	0,000000	0,000000	0,00028
Trapos	0,0212	0,01167	0,00140	0,00662	0,000976	0,000032	0,00053
TOTAL	0,2962	0,14714	0,01916	0,10629	0,005600	0,000811	0,01720
Promedio		0,496774	0,064692	0,358859	0,018908	0,002738	0,058064

El promedio de los componentes se calcula del total de cada uno estos entre el total de peso seco de los residuos.

La relación de H/C se determina del promedio de estos elementos obteniendo que para el total de los residuos encontrados en el distrito de carabayllo sería de 0.1302 y si se emplea solo la materia orgánica dicha relación sería de 0.1333.

Tabla 4.53 Cálculo de análisis de la composición química elemental de los componentes en los Residuos Sólidos Domiciliarios del distrito de Comas.

Comas	Peso Seco	C	H	O	N	S	Cenizas
Materia Orgánica	0,1559	0,07482	0,00998	0,05861	0,004053	0,000623	0,00779
Papel	0,0511	0,02224	0,00307	0,02250	0,000153	0,000102	0,00307
Cartón	0,0136	0,00599	0,00080	0,00607	0,000041	0,000027	0,00068
Plástico Liviano	0,0389	0,02334	0,00280	0,00887	0,000000	0,000000	0,00389
Plástico Rígido	0,0182	0,01090	0,00131	0,00414	0,000000	0,000000	0,00182
Empaques Tetra	0,0008	0,00035	0,00005	0,00036	0,000002	0,000002	0,00004
Caucho y jebe	0,0084	0,00652	0,00084	0,00000	0,000167	0,000000	0,00084
Cuero	0,0047	0,00281	0,00037	0,00054	0,000469	0,000019	0,00047
Madera	0,0120	0,00596	0,00072	0,00514	0,000024	0,000012	0,00018
Trapos	0,0148	0,00812	0,00097	0,00461	0,000679	0,000022	0,00037
TOTAL	0,3183	0,16106	0,02091	0,11084	0,005588	0,000808	0,01914
Promedio		0,505933	0,065688	0,34818	0,017555	0,00254	0,06013

El promedio de los componentes se calcula del total de cada uno de estos entre el total de peso seco de los residuos.

La relación de H/C se determina del promedio de estos elementos obteniendo que para el total de los residuos encontrados en el distrito de Comas sería de 0.1298, y si se emplea solo la materia orgánica dicha relación sería de 0.1334.

Tabla 4.54 Cálculo de análisis de la composición química elemental de los componentes en los Residuos Sólidos Domiciliarios del distrito de Independencia.

Independencia	Peso Seco	C	H	O	N	S	Cenizas
Materia Orgánica	0,1707	0,08194	0,01092	0,06418	0,004438	0,000683	0,00853
Papel	0,0428	0,01863	0,00257	0,01884	0,000128	0,000086	0,00257
Cartón	0,0124	0,00548	0,00073	0,00555	0,000037	0,000025	0,00062
Plástico Liviano	0,0219	0,01316	0,00158	0,00500	0,000000	0,000000	0,00219
Plástico Rígido	0,0129	0,00773	0,00093	0,00294	0,000000	0,000000	0,00129
Botellas de Aceite	0,0016	0,00097	0,00012	0,00037	0,000000	0,000000	0,00016
Empaques Tetra	0,0003	0,00015	0,00002	0,00015	0,000001	0,000001	0,00002
Caucho y jebe	0,0007	0,00058	0,00007	0,00000	0,000015	0,000000	0,00007
Cuero	0,0032	0,00191	0,00026	0,00037	0,000319	0,000013	0,00032
Madera	0,0038	0,00189	0,00023	0,00163	0,000008	0,000004	0,00006
Huesos	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000000	0,000000	0,00000
Zapatillas	0,0040	0,00241	0,00029	0,00092	0,000000	0,000000	0,00040
Trapos	0,0161	0,00887	0,00106	0,00503	0,000742	0,000024	0,00040
TOTAL	0,2906	0,14372	0,01878	0,10498	0,005688	0,000835	0,01664
Promedio		0,494483	0,064631	0,36121	0,019571	0,00287	0,05726

El promedio de los componentes se calcula del total de cada uno de estos entre el total de peso seco de los residuos.

La relación de H/C se determina del promedio de estos elementos obteniendo que para el total de los residuos encontrados en el distrito de Independencia sería de 0.1307, y si se emplea solo la materia orgánica dicha relación sería de 0.1332.

Tabla 4.55 Cálculo de análisis de la composición química elemental de los componentes en los Residuos Sólidos Domiciliarios del distrito de los Olivos.

Los olivos	Peso Seco	C	H	O	N	S	Cenizas
Materia Orgánica	0,2286	0,10973	0,01463	0,08596	0,005944	0,000914	0,01143
Papel	0,0187	0,00814	0,00112	0,00823	0,000056	0,000037	0,00112
Cartón	0,0165	0,00724	0,00097	0,00734	0,000049	0,000033	0,00082
Plástico Liviano	0,0291	0,01746	0,00209	0,00663	0,000000	0,000000	0,00291
Plástico Rígido	0,0244	0,01466	0,00176	0,00557	0,000000	0,000000	0,00244
Madera	0,0193	0,00955	0,00116	0,00824	0,000039	0,000019	0,00029
Trapos	0,0109	0,00598	0,00072	0,00339	0,000500	0,000016	0,00027
TOTAL	0,3475	0,17276	0,02245	0,12536	0,006588	0,001020	0,01929
Promedio		0,49719	0,064621	0,36079	0,018961	0,00294	0,05551

El promedio de los componentes se calcula del total de cada uno estos entre el total de peso seco de los residuos.

La relación de H/C se determina del promedio de estos elementos obteniendo que para el total de los residuos encontrados en el distrito de Los Olivos sería de 0.1299 y si se emplea solo la materia orgánica dicha relación sería de 0.1333.

Tabla 4.56 Calculo de análisis de la composición química elemental de los componentes en los Residuos Solidos Domiciliarios del distrito de Puente Piedra.

Puente Piedra	Peso Seco	C	H	O	N	S	Cenizas
Materia Orgánica	0,1172	0,05628	0,00750	0,04409	0,003048	0,000469	0,00586
Papel	0,0263	0,01142	0,00158	0,01155	0,000079	0,000053	0,00158
Cartón	0,0131	0,00578	0,00077	0,00585	0,000039	0,000026	0,00066
Plástico Liviano	0,0263	0,01575	0,00189	0,00599	0,000000	0,000000	0,00263
Plástico Rígido	0,0167	0,01002	0,00120	0,00381	0,000000	0,000000	0,00167
Caucho y jebe	0,0020	0,00153	0,00020	0,00000	0,000039	0,000000	0,00020
Cuero	0,0011	0,00064	0,00009	0,00012	0,000107	0,000004	0,00011
Madera	0,0009	0,00046	0,00006	0,00040	0,000002	0,000001	0,00001
Trapos	0,0159	0,00877	0,00105	0,00497	0,000733	0,000024	0,00040
TOTAL	0,2195	0,11065	0,01434	0,07678	0,004048	0,000577	0,01310
Promedio		0,504124	0,065316	0,34982	0,018442	0,00263	0,05971

El promedio de los componentes se calcula del total de cada uno estos entre el total de peso seco de los residuos.

La relación de H/C se determina del promedio de estos elementos obteniendo que para el total de los residuos encontrados en el distrito de Puente Piedra seria de 0.1296 y si se emplea solo la materia orgánica dicha relación seria de 0.1332.

Tabla 4.57 Cálculo de análisis de la composición química elemental de los componentes en los Residuos Sólidos Domiciliarios del distrito de San Martín de Porres.

SMP	Peso Seco	C	H	O	N	S	Cenizas
Materia Orgánica	0,2570	0,12337	0,01645	0,09664	0,006682	0,001028	0,01285
Papel	0,0775	0,03371	0,00465	0,03410	0,000232	0,000155	0,00465
Cartón	0,0143	0,00629	0,00084	0,00637	0,000043	0,000029	0,00071
Plástico Liviano	0,0297	0,01780	0,00214	0,00676	0,000000	0,000000	0,00297
Plástico Rígido	0,0179	0,01073	0,00129	0,00408	0,000000	0,000000	0,00179
Caucho y jebe	0,0004	0,00029	0,00004	0,00000	0,000007	0,000000	0,00004
Cuero	0,0031	0,00184	0,00025	0,00036	0,000307	0,000012	0,00031
Madera	0,0038	0,00189	0,00023	0,00163	0,000008	0,000004	0,00006
Trapos	0,0180	0,00989	0,00119	0,00561	0,000827	0,000027	0,00045
TOTAL	0,4216	0,20580	0,02706	0,15554	0,008107	0,001255	0,02382
Promedio		0,488161	0,064194	0,36896	0,01923	0,00298	0,0565

El promedio de los componentes se calcula del total de cada uno estos entre el total de peso seco de los residuos.

La relación de H/C se determina del promedio de estos elementos obteniendo que para el total de los residuos encontrados en el distrito de San Martín de Porres sería de 0.1315 y si se emplea solo la materia orgánica dicha relación sería de 0.1337.

Tabla 4.58 Cálculo de análisis de la composición química elemental de los componentes en los Residuos Sólidos Domiciliarios del distrito de Ventanilla.

<i>Ventanilla</i>	Peso Seco	C	H	O	N	S	Cenizas
Materia Orgánica	0,1371	0,06579	0,00877	0,05154	0,003564	0,000548	0,00685
Papel	0,0414	0,01799	0,00248	0,01820	0,000124	0,000083	0,00248
Cartón	0,0100	0,00442	0,00059	0,00448	0,000030	0,000020	0,00050
Plástico Liviano	0,0207	0,01240	0,00149	0,00471	0,000000	0,000000	0,00207
Plástico Rígido	0,0159	0,00953	0,00114	0,00362	0,000000	0,000000	0,00159
Botellas de Aceite	0,0024	0,00145	0,00017	0,00055	0,000000	0,000000	0,00024
Empaques Tetra	0,0008	0,00035	0,00005	0,00035	0,000002	0,000002	0,00004
Cuero	0,0026	0,00157	0,00021	0,00030	0,000262	0,000010	0,00026
Madera	0,0029	0,00143	0,00017	0,00123	0,000006	0,000003	0,00004
Huesos	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000000	0,000000	0,00000
Zapatillas	0,0024	0,00142	0,00017	0,00054	0,000000	0,000000	0,00024
Trapos	0,0164	0,00903	0,00108	0,00512	0,000756	0,000025	0,00041
TOTAL	0,2525	0,12537	0,01633	0,09065	0,004743	0,000691	0,01472
Promedio		0,49652	0,06469	0,35899	0,018785	0,00274	0,05831

El promedio de los componentes se calcula del total de cada uno de estos entre el total de peso seco de los residuos.

La relación de H/C se determina del promedio de estos elementos obteniendo que para el total de los residuos encontrados en el distrito de Comas sería de 0.1303 y si se emplea solo la materia orgánica dicha relación sería de 0.1333.

Considerado como un factor esencial para el análisis de todo combustible en el proceso de combustión, tomando en cuenta que la relación H/C para el carbón vegetal (de madera) es en promedio de 0.13, se podría concluir que cuando el valor este cerca a 0.13, se tendrá un proceso de combustión similar al carbón vegetal con los RSD.

Tabla N° 4.59 Relación de H/C de los RSD y de la materia orgánica en los distritos del Cono Norte de Lima.

Distrito	Relación H/C RSD Cono Norte Lima	Relación H/C Materia Orgánica
Ancón	0.1271	0.1337
Carabaylo	0.1302	0.1333
Comas	0.1298	0.1334
Independencia	0.1307	0.1332
Los Olivos	0.1299	0.1333
San Martín de Porres	0.1296	0.1332
Ventanilla	0.1303	0.1333
Promedio del Cono Norte	0.1296	0.1333

De la siguiente tabla podemos inferir que el promedio de la relación de H/C para los Residuos Sólidos Domiciliarios RSD en el cono de Lima Metropolitana es de 0.1296 y la relación de H/C de la Materia Orgánica es de 0.1333.

Grafico N° 4.29 Comparación de la relación H/C de los RSD y la materia orgánica.

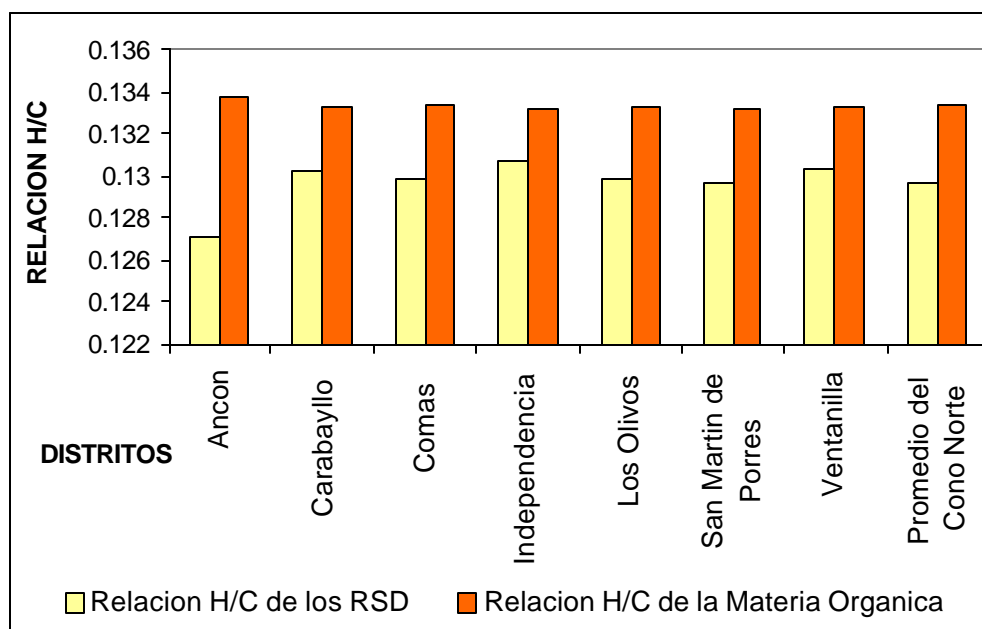
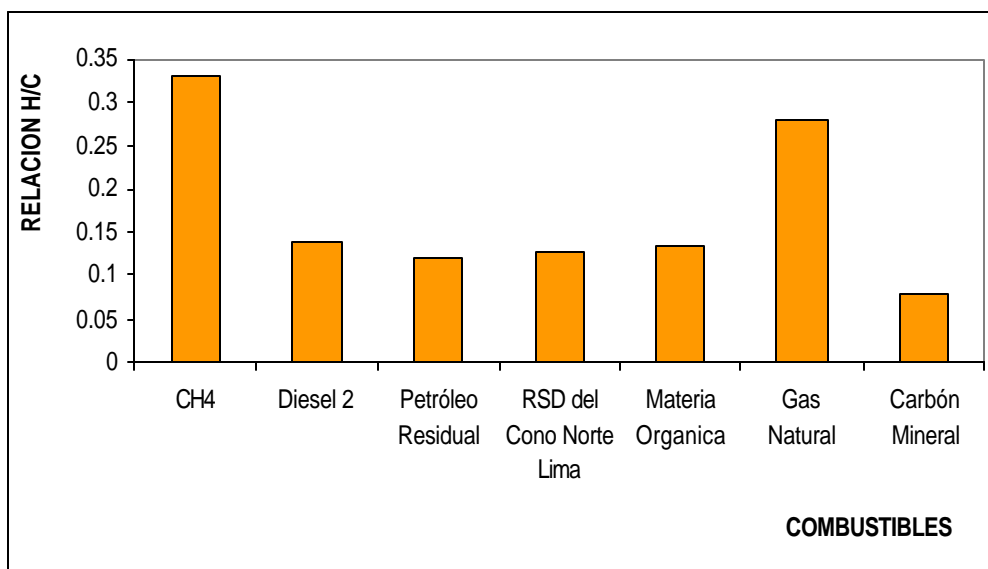


Tabla N° 4.60 Relación de H/C de los RSD y de la materia orgánica en los distritos del Cono Norte de Lima.

Combustibles	Relación H/C
CH4	0.33
Diesel 2	0.14
Petróleo Residual	0.12
RSD del Cono Norte Lima	0.1296
Materia Orgánica	0.1333
Gas Natural	0.28
Carbón Mineral	0.08
Gasolina	0,188

Cuando la relación H/C de los RSD sea cercana a 0.13 nos acercaremos a las características de un petróleo residual; mientras que la relación H/C de la Materia Orgánica sea cercana a 0.14 nos acercaremos a las características del petróleo diesel 2.

Grafico N° 4.30 Comparación de la relación H/C de los RSD y la materia orgánica.



4.14 Cálculo del contenido energético de los componentes de los residuos sólidos.

El contenido energético de los componentes orgánicos en los RSD se puede determinar a través de tres métodos.

1. Utilizando una caldera a escala real como un calorimétrico.
2. Utilizando una bomba calorimétrica de laboratorio
3. Por cálculo si se determina la bomba calorimétrica.

Por las dificultades que existen para instrumentar una caldera a escala real, la mayoría de los datos para determinar el contenido energético de los componentes orgánicos de los RSD se pueden determinar a través de ensayos con una bomba calorimétrica¹⁰⁰. La determinación del poder calorífico, el cual es uno de los parámetros más importantes del presente estudio, son obtenidos a través del contenido de energía de los componentes orgánicos de los RSU los cuales están basados en los resultados del quemado de una muestra en una bomba calorimétrica, de estos datos se obtiene el poder calorífico a través de un cálculo teórico; el cual se basa en los datos típicos del contenido energético, producto de los resultados de estos ensayos, que se muestran en la tabla N° 3.4, el cual posteriormente se complementa con el conocimiento de la composición de los residuos utilizando la fórmula 3.18.

Los datos típicos del contenido energético y de los residuos sólidos domésticos se presentan en las tablas siguientes para cada uno de los ocho distritos del cono norte de Lima Metropolitana. Como se puede observar, los valores del contenido energético están en Kcal. /Kg. en cada uno de los distritos que fueron parte del estudio.

¹⁰⁰ Gestión Integral de Residuos Sólidos Vol. I George Tchobanoglous.

Tabla Nº 4.61 Datos típicos del contenido energético del distrito de Ancón.

Ancón	Residuos Sólidos Kg. (PH)	(1-PH) %	Residuos Sólidos gr. (PS)	Energía Kcal./Kg.	Energía Total (Kcal.)
Materia Orgánica	0,2714	0,30	0,0814	1.111,12	90.467,39
Papel	0,085	0,94	0,0799	4.000,03	319.602,40
Cartón	0,0301	0,95	0,0286	3.888,92	111.203,67
Total	0.3865		0.18992		521.27345
Contenido Energético Kcal./Kg.					2744.77242
Contenido Energético Kjoules/Kg.					11491.81318

Tabla Nº 4.62 Datos típicos del contenido energético del distrito de Carabayllo.

Carabayllo	Residuos Sólidos Kg. (PH)	% de Humedad	Residuos Sólidos Kg. (PS)	Energía Kcal./Kg.	Energía Total Kcal.
Materia orgánica	377,2	0,30	113,2	1.111,12	125.734,34
Papel	112,4	0,94	105,7	4.000,03	422.627,17
Cartón	22,9	0,95	21,8	3.888,92	84.603,45
Total	512.5		240.571		632,964.96
Contenido Energético Kcal./Kg.					2,631.094
Contenido Energético Kjoules/Kg.					11,015.865

Tabla Nº 4.63 Datos típicos del contenido energético del distrito de Comas.

Comas	Residuos Sólidos Kg. (PH)	Humedad	Residuos Sólidos Kg. (PS)	Energía Kcal./Kg.	Energía Total (Kcal.)
Materia orgánica	342,6	0,30	102,8	1.111,12	114.200,91
Papel	111,2	0,94	104,5	4.000,03	418.115,14
Cartón	29,6	0,95	28,1	3.888,92	109.356,43
Total	483.4		234.5		641,672.480
Contenido Energético Kcal./Kg.					2,725.557
Contenido Energético Kjoules/Kg.					11,411.363

Tabla N° 4.64 Datos típicos del contenido energético del distrito de Independencia.

Independencia	Residuos Sólidos Kg. (PH)	Humedad	Residuos Sólidos Kg. (PS)	Energía Kcal./Kg.	Energía Total Kcal.
Materia Orgánica	414,6	0,30	124,4	1.111,12	138.201,11
Papel	102,9	0,94	96,7	4.000,03	386.906,90
Cartón	29,0	0,95	27,6	3.888,92	107.139,75
Total	546.5		248.7		632,247.75
Contenido Energético Kcal./Kg.					2,542.660
Contenido Energético Kjoules/Kg.					10,645.610

Tabla N° 4.65 Datos típicos del contenido energético del distrito de Los Olivos.

Los Olivos	Residuos Sólidos Kg. (PH)	Humedad	Residuos Sólidos Kg. (PS)	Energía Kcal./Kg.	Energía Total (Kcal.)
Materia Orgánica	418,6	0,30	125,6	1.111,12	139.534,45
Papel	33,9	0,94	31,9	4.000,03	127.464,96
Cartón	28,9	0,95	27,5	3.888,92	106.770,30
Total	481.4		185,0		373.769,71
Contenido Energético Kcal./Kg.					2,021.459
Contenido Energético Kjoules/Kg.					8,463.443

Tabla N° 4.66 Datos típicos del contenido energético del distrito de Puente Piedra.

Puente Piedra	Residuos Sólidos Kg. (PH)	Humedad	Residuos Sólidos Kg. (PS)	Energía Kcal./Kg.	Energía Total (Kcal.)
Materia orgánica	280,3	0,30	84,1	1.111,12	93.434,08
Papel	62,1	0,94	58,4	4.000,03	233.497,75
Cartón	30,1	0,95	28,6	3.888,92	111.203,67
Total	372.5		171.1		438,135.50
Contenido Energético Kcal./Kg.					2,561.312
Contenido Energético Kjoules/Kg.					10,723.702

Tabla Nº 4.67 Datos típicos del contenido energético del distrito de S.M.P.

SMP	Residuos Sólidos Kg. (PH)	Humedad	Residuos Sólidos Kg. (PS)	Energía Kcal./Kg.	Energía Total (Kcal.)
Materia Orgánica	470,6	0,30	141,2	1.111,12	156.867,92
Papel	140,4	0,94	132,0	4.000,03	527.907,96
Cartón	25,1	0,95	23,8	3.888,92	92.731,30
Total	636.1		297.0		777,507.18
Contenido Energético Kcal./Kg.					2,617.860
Contenido Energético Kjoules/Kg.					10,960.458

Tabla Nº 4.69 Datos típicos del contenido energético del distrito de Ventanilla.

Ventanilla	Residuos Sólidos Kg. (PH)	Humedad	Residuos Sólidos Kg. (PS)	Energía Kcal./Kg.	Energía Total (Kcal.)
Materia Orgánica	298.800	0,30	89.640	1.111,12	99,600.80
Papel	89.200	0,94	83.848	4.000,03	335,394.52
Cartón	21.000	0,95	19.950	3.888,92	77,583.95
Total	409.000		193.438		512,579.27
Contenido Energético Kcal./Kg.					2,649.837
Contenido Energético Kjoules/Kg.					11,094.340

4.15 Calculo del poder calorífico de los residuos sólidos domiciliarios en Lima Norte.

Este valor es necesario para calcular los factores de emisión de concentraciones de gas en los procesos de combustión. El poder calorífico depende del análisis y de la cantidad de sustancias en el combustible.

A partir del análisis elemental de los diversos compuestos se puede aplicar la formula de Doulong modificada para hallar el PCI (ecuación 3.18).

$$8.060 \times C + 33.910 \times (H - \frac{1}{8} \times O) + 2.222 \times S + 556 \times N$$

4.151 Determinación del Poder Calorífico inferior PCI de los Residuos Sólidos Domiciliarios en Lima Norte.

La determinación del calculo del poder calorífico inferior que se encuentra en cada uno de los distritos del cono Norte de Lima Metropolitana; se desarrollo considerando como compuesto principal la Materia Orgánica, Papel y Cartón (RSD), los cuales están presentes en los RSD y son los menos contaminantes de los compuestos que lo conforman.

4.1511 Determinación del cálculo del poder calorífico inferior para el distrito de Ancón.

La determinación del poder calorífico inferior se determino en función de algunos componentes que se halla en los RSD como son la Materia Orgánica, Papel y cartón debido a que estos presentan poco nivel de contaminación.

Tabla Nº 4.70 Composición de elementos Químicos en la materia orgánica para el distritos de Ancón por cada Kg. de RSD.

	Peso Seco	C	H	O	N	S
RSD	0.190	0.086	0.012	0.079	0.002	0.001

Aplicando la formula de Dulong para determinar el PCI de los RSD se obtiene:

$$PCI=8.060\times 0.086+33.910\times(0.012-\frac{1}{8}\times 0.079)+2.222\times 0.001+556\times 0.002$$
$$PCI=2.119Kcal/Kg.$$

El Poder Calorífico Inferior para el distrito de Ancón es de 2119 Kcal./kg.

4.1512 Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Carabaylo.

La determinación del poder calorífico inferior se determinó en función de algunos componentes que se halla en los RSD como son la Materia Orgánica, Papel y cartón debido a que estos presentan poco nivel de contaminación.

Tabla N° 4.71 Composición de elementos Químicos en la materia orgánica para el distritos de Carabaylo por cada Kg. de RSD.

	Peso Seco	C	H	O	N	S
RSD	0.240	0.109	0.0148	0.0987	0.0033	0.0007

Aplicando la fórmula de Dulong para determinar el PCI de los RSD se obtiene:

$$PCI = 8.060 \times 0.109 + 33910 \times (0.0148 - \frac{1}{8} \times 0.0987) + 2222 \times 0.0007 + 556 \times 0.0033$$

$$PCI = 2.798 \text{ Kcal/Kg}$$

El Poder Calorífico Inferior para el distrito de Carabaylo es de 2.798 Kcal. /kg.

4.1513 Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Comas.

La determinación del poder calorífico inferior se determinó en función de algunos componentes que se halla en los RSD como son la Materia Orgánica, Papel y cartón debido a que estos presentan poco nivel de contaminación.

Tabla N° 4.72 Composición de elementos Químicos en la materia orgánica para el distritos de Comas por cada Kg. de RSD.

	Peso Seco	C	H	O	N	S
RSD	0.235	0.107	0.015	0.097	0.003	0.001

Aplicando la formula de Doulong para determinar el PCI de los RSD se obtiene

$$PCI = 8.060 \times 0.107 + 33.910 \times (0.015 - \frac{1}{8} \times 0.097) + 2.222 \times 0.001 + 556 \times 0.003$$

$$PCI = 2.652 Kcal/ Kg.$$

El Poder Calorífico Inferior para el distrito de Comas es de 2.652 Kcal. /kg.

4.1514 Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Independencia.

La determinación del poder calorífico inferior se determino en función de algunos componentes que se halla en los RSD como son la Materia Orgánica, Papel y cartón debido a que estos presentan poco nivel de contaminación.

Tabla Nº 4.73 Composición de elementos Químicos en la materia orgánica para el distritos de Independencia por cada Kg. de RSD.

	Peso Seco	C	H	O	N	S
RSD	0.249	0.114	0.015	0.102	0.004	0.001

Aplicando la formula de Doulong para determinar el PCI de los RSD se obtiene:

$$PCI = 8.060 \times 0.114 + 33.910 \times (0.015 - \frac{1}{8} \times 0.102) + 2.222 \times 0.001 + 556 \times 0.004$$

$$PCI = 3.016 Kcal/ Kg.$$

El Poder Calorífico Inferior para el distrito de Independencia es de 3.016 Kcal. /kg.

4.1515 Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Los Olivos.

La determinación del poder calorífico inferior se determino en función de algunos componentes que se halla en los RSD como son la Materia Orgánica, Papel y cartón debido a que estos presentan poco nivel de contaminación.

Tabla N° 4.74 Composición de elementos Químicos en la materia orgánica para el distritos de Los Olivos por cada Kg. de RSD.

	Peso Seco	C	H	O	N	S
RSD	0.185	0.086	0.012	0.073	0.003	0.001

Aplicando la formula de Doulong para determinar el PCI de los RSD se obtiene:

$$PCI = 8.060 \times 0.086 + 33.910 \times (0.012 - \frac{1}{8} \times 0.073) + 2.222 \times 0.001 + 556 \times 0.003$$

$$PCI = 2.691 Kcal/ Kg.$$

El Poder Calorífico Inferior para el distrito de Los Olivos es de 2.691 Kcal. /kg.

4.1516 Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Puente Piedra.

La determinación del poder calorífico inferior se determino en función de algunos componentes que se halla en los RSD como son la Materia Orgánica, Papel y cartón debido a que estos presentan poco nivel de contaminación.

Tabla N° 4.75 Composición de elementos Químicos en la materia orgánica para el distritos de Puente Piedra por cada Kg. de RSD.

	Peso Seco	C	H	O	N	S
RSD	0.171	0.078	0.011	0.070	0.002	0.001

Aplicando la formula de Doulong para determinar el PCI de los RSD se obtiene:

$$PCI = 8.060 \times 0.078 + 33.910 \times (0.011 - \frac{1}{8} \times 0.070) + 2.222 \times 0.001 + 556 \times 0.002$$

$$PCI = 2055 Kcal/ Kg.$$

El Poder Calorífico Inferior para el distrito de Puente Piedra es de 2055 Kcal. /kg.

4.1517 Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de San Martín de Porres.

La determinación del poder calorífico inferior se determino en función de algunos componentes que se halla en los RSD como son la Materia Orgánica, Papel y cartón debido a que estos presentan poco nivel de contaminación.

Tabla Nº 4.76 Composición de elementos Químicos en la materia orgánica para el distritos de San Martín de Porres por cada Kg. de RSD.

	Peso Seco	C	H	O	N	S
RSD	0.297	0.136	0.018	0.122	0.004	0.001

Aplicando la formula de Doulong para determinar el PCI de los RSD se obtiene:

$$PCI = 8.060 \times 0.136 + 33.910 \times (0.018 - \frac{1}{8} \times 0.122) + 2.222 \times 0.001 + 556 \times 0.004$$

$$PCI = 3.503 Kcal/ Kg.$$

El Poder Calorífico Inferior para el distrito de San Martín de Porres es de 3.503 Kcal. /kg.

4.1518 Determinación del cálculo del poder calorífico para el distrito de Ventanilla.

La determinación del poder calorífico inferior se determino en función de algunos componentes que se halla en los RSD como son la Materia Orgánica, Papel y cartón debido a que estos presentan poco nivel de contaminación.

Tabla N° 4.77 Composición de elementos Químicos en la materia orgánica para el distritos de Ventanilla por cada Kg. de RSD.

	Peso Seco	C	H	O	N	S
RSD	0.193	0.088	0.012	0.079	0.003	0.001

Aplicando la formula de Doulong para determinar el PCI de los RSD se obtiene:

$$PCI = 8.060 \times 0.088 + 33.910 \times (0.012 - \frac{1}{8} \times 0.079) + 2.222 \times 0.001 + 556 \times 0.003$$
$$PCI = 2.250 Kcal/ Kg.$$

El Poder Calorífico Inferior para el distrito de Ventanilla es de 2.250 Kcal. /kg.

De acuerdo a los datos obtenidos podemos estimar que en promedio el poder Calorífico Inferior para los distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana que son parte de esta Tesis es de 2635 Kcal./Kg.

4.16 Determinación de la cantidad de biogás generado por los residuos.

En esta sección se procede a realizar el cálculo de la cantidad de biogás que puede ser generado por cada kilogramo de residuo sólidos domésticos en cada uno de los 7 distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana de Lima. Para dicho cálculo se toma como datos principales la Materia Orgánica, Papel y Cartón los cuales son materia prima disponible y menos contaminante para la producción de Biogás.

Tabla N° 4.78 Composición por Kilogramo de los componentes químicos para el Distrito de Ancón.

Componentes	Peso Seco	C	H	O	N
Materia Orgánica	81.4200	39.08160	5.21088	30.61392	2.116920
Papel	79.9000	34.75650	4.79400	35.15600	0.239700
Cartón	28.5950	12.58180	1.68711	12.75337	0.085785
Promedio	189.9150	86.4199	11.6920	78.5233	2.4424

Tabla N° 4.79 Calculo de la Composición molar para el Distrito de Ancón.

	C	H	O	N
g/mol	12.01	1.01	16	14.01
Totales moles	7.195661948	11.57622277	4.907705625	0.17433298

Tabla N° 4.80 Composición por Kilogramo de los componentes químicos para el Distrito de Carabaylo.

Componentes	Peso Seco	C	H	O	N
Materia Orgánica	113.1600	54.31680	7.24224	42.54816	2.942160
Papel	105.6560	45.96036	6.33936	46.48864	0.316968
Cartón	21.7550	9.57220	1.28355	9.70273	0.065265
Promedio	240.5710	109.8494	14.8651	98.7395	3.3244

Tabla N° 4.81 Calculo de la Composición molar para el Distrito de Carabaylo.

	C	H	O	N
g/mol	12.01	1.01	16	14.01
Totales moles	9.146491257	14.71796535	6.171220625	0.23728715

Tabla N° 4.82 Composición por Kilogramo de los componentes químicos para el Distrito de Comas.

Componentes	Peso Seco	C	H	O	N
Materia Orgánica	102.7800	49.33440	6.57792	38.64528	2.672280
Papel	104.5280	45.46968	6.27168	45.99232	0.313584
Cartón	28.1200	12.37280	1.65908	12.54152	0.084360
Promedio	235.4280	107.1769	14.5087	97.1791	3.0702

Tabla N° 4.83 Cálculo de la Composición molar para el Distrito de Comas.

	C	H	O	N
g/mol	12.01	1.01	16	14.01
Totales moles	8.923970025	14.3650297	6.073695	0.21914518

Tabla N° 4.84 Composición por Kilogramo de los componentes químicos para el Distrito de Independencia.

Componentes	Peso Seco	C	H	O	N
Materia Orgánica	124.3800	59.70240	7.96032	46.76688	3.233880
Papel	96.7260	42.07581	5.80356	42.55944	0.290178
Cartón	27.5500	12.12200	1.62545	12.28730	0.082650
Promedio	248.6560	113.9002	15.3893	101.6136	3.6067

Tabla N° 4.85 Cálculo de la Composición molar para el Distrito de Independencia.

	C	H	O	N
g/mol	12.01	1.01	16	14.01
Totales moles	9.483781016	15.2369604	6.35085125	0.25743812

Tabla N° 4.86 Composición por Kilogramo de los componentes químicos para el Distrito de Los Olivos.

Componentes	Peso Seco	C	H	O	N
Materia Orgánica	125.5800	60.27840	8.03712	47.21808	3.265080
Papel	31.8660	13.86171	1.91196	14.02104	0.095598
Cartón	27.4550	12.08020	1.61985	12.24493	0.082365
Promedio	184.9010	86.2203	11.5689	73.4841	3.4430

Tabla N° 4.87 Cálculo de la Composición molar para el Distrito de los Olivos.

	C	H	O	N
g/mol	12.01	1.01	16	14.01
Totales moles	7.179043297	11.45438119	4.592753125	0.2457561

Tabla N° 4.88 Composición por Kilogramo de los componentes químicos para el Distrito de San Martín de Porres.

Componentes	Peso Seco	C	H	O	N
Materia Orgánica	141.1800	67.76640	9.03552	53.08368	3.670680
Papel	131.9760	57.40956	7.91856	58.06944	0.395928
Cartón	23.8450	10.49180	1.40686	10.63487	0.071535
Promedio	297.0010	135.6678	18.3609	121.7880	4.1381

Tabla N° 4.89 Cálculo de la Composición molar para el Distrito de los SMP.

	C	H	O	N
g/mol	12.01	1.01	16	14.01
Totales moles	11.29623314	18.17914356	7.611749375	0.29537066

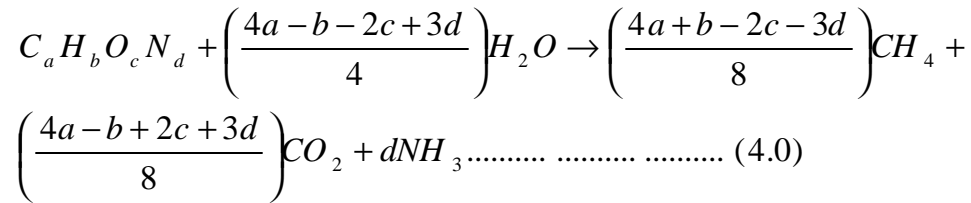
Tabla N° 4.90 Composición por Kilogramo de los componentes químicos para el Distrito de Ventanilla.

Componentes	Peso Seco	C	H	O	N
Materia Orgánica	89.6400	43.02720	5.73696	33.70464	2.330640
Papel	83.8480	36.47388	5.03088	36.89312	0.251544
Cartón	19.9500	8.77800	1.17705	8.89770	0.059850
Promedio	193.4380	88.2791	11.9449	79.4955	2.6420

Tabla N° 4.91 Cálculo de la Composición molar para el Distrito de los Ventanilla.

	C	H	O	N
g/mol	12.01	1.01	16	14.01
Totales moles	7.350464613	11.82662376	4.96846625	0.18858201

La fórmula química durante la descomposición anaeróbica de gases biodegradables se obtiene con la siguiente ecuación:



La ecuación 4.0 se empleara para determinar el porcentaje de cada uno de los gases que conforman el Biogás (Metano, Bióxido de Carbono, Amoniac) producidos para cada uno de los 7 distritos que son tomados en cuenta.

Para obtener el volumen de los gases tendrá que emplear las siguientes densidades:

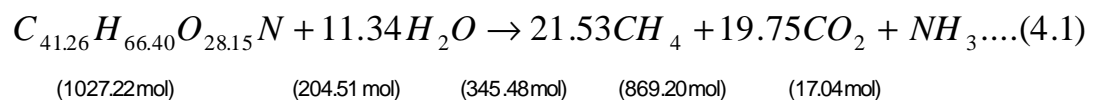
Tabla N° 4.92 Tabla de densidades de los gases que conforman el Biogás.

COMPUESTO	Kg/m ³
Metano	0.7167
Bióxido de Carbono	1.9768
Amoniac	0.7708

Reemplazando los datos obtenidos en las tablas anteriores en la ecuación N° 4.

Obtenemos el siguiente balance químico.

Distrito de Ancón.



Determinamos el peso del metano, dióxido de carbono y amoniac de la ecuación obtenida anteriormente:

$$Me\ tan\ o = \frac{345.48}{1027.22} \times 189.915\ Kg = 63.87\ Kg.$$

$$Bioxido\ _\ de\ _\ carbono = \frac{869.20}{1027.22} \times 189.915 = 160.70\ Kg.$$

$$Amoniac = \frac{17.04}{1027.22} \times 189.915 = 3.15\ Kg.$$

Convertimos el peso de los gases, hallados anteriormente, en volumen tomando los pesos específicos de cada uno ellos (ver Tabla N° 4.81)

$$Me\ tan\ o = \frac{63.87\ Kg.}{0.7167\ Kg. / m^3} = 89.12\ m^3$$

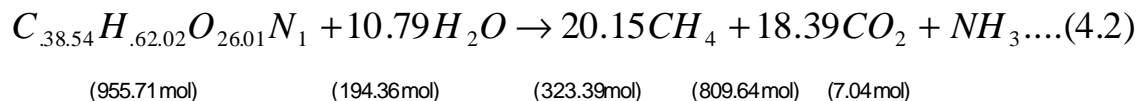
$$Bioxido\ _\ de\ _\ carbono = \frac{160.70\ Kg.}{1.9768\ Kg. / m^3} = 81.29\ m^3$$

$$Amoniaco = \frac{3.15\ Kg.}{0.7708\ Kg. / m^3} = 4.08\ m^3$$

Por lo tanto la cantidad total teórica del gas generado por peso seco del material orgánico, m³/Kg.

$$Total\ _\ Biogas = \frac{89.12\ m^3 + 81.29\ m^3}{189.92\ Kg.} = 0.897\ m^3 / Kg.$$

Distrito de Carabaillo



Determinamos el peso del metano, dióxido de carbono y amoniaco de la ecuación obtenida anteriormente:

$$Me\ tan\ o = \frac{323.39}{955.71} \times 240.57\ Kg. = 81.40\ Kg.$$

$$Bioxido\ _\ de\ _\ carbono = \frac{809.64}{955.71} \times 240.57 = 203.80\ Kg.$$

$$Amoniaco = \frac{17.04}{955.71} \times 240.57 = 4.29\ Kg.$$

Convertimos el peso de los gases, hallados anteriormente, en volumen tomando los pesos específicos de cada uno ellos (ver Tabla N° 4.81)

$$Me\ tan\ o = \frac{81.40\ Kg.}{0.7167\ Kg. / m^3} = 113.58\ m^3$$

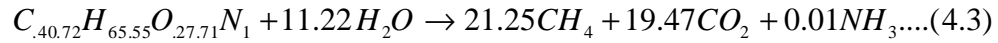
$$Bioxido\ _\ de\ _\ carbono = \frac{203.80\ Kg.}{1.9768\ Kg. / m^3} = 103.09\ m^3$$

$$Amoniaco = \frac{4.29\ Kg.}{0.7708\ Kg. / m^3} = 5.56\ m^3$$

Por lo tanto la cantidad total teórica del gas generado por peso seco del material orgánico, m³/Kg.

$$Total_Biogas = \frac{113.58m^3 + 103.09m^3}{240.57Kg} = 0.901m^3 / Kg.$$

Distrito de Comas



$$(1012.7 \text{ mol}) \quad (202.30 \text{ mol}) \quad (341.07 \text{ mol}) \quad (856.91 \text{ mol}) \quad (17.04 \text{ mol})$$

Determinamos el peso del metano, dióxido de carbono y amoníaco de la ecuación obtenida anteriormente:

$$Me\ tan\ o = \frac{341.07}{1012.7} \times 235.43\ Kg = 79.29\ Kg.$$

$$Bioxido_de_carbono = \frac{856.91}{1012.7} \times 235.43 = 199.21\ Kg.$$

$$Amoníaco = \frac{17.04}{1012.7} \times 235.43 = 3.96\ Kg.$$

Convertimos el peso de los gases, hallados anteriormente, en volumen tomando los pesos específicos de cada uno ellos (ver Tabla N° 4.81)

$$Me\ tan\ o = \frac{79.29\ Kg}{0.7167\ Kg / m^3} = 110.63\ m^3$$

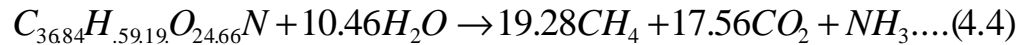
$$Bioxido_de_carbono = \frac{199.21\ Kg}{1.9768\ Kg / m^3} = 100.77\ m^3$$

$$Amoníaco = \frac{3.96\ Kg}{0.7708\ Kg / m^3} = 5.14\ m^3$$

Por lo tanto la cantidad total teórica del gas generado por peso seco del material orgánico, m³/Kg.

$$Total_Biogas = \frac{110.63\ m^3 + 100.77\ m^3}{235.43\ Kg} = 0.897\ m^3 / Kg.$$

Distrito de Independencia



(910.93mol) (188.44mol) (309.37mol) (772.97mol) (17.04mol)

Determinamos el peso del metano, dióxido de carbono y amoníaco de la ecuación obtenida anteriormente:

$$Me\ tan\ o = \frac{309.37}{910.93} \times 248.66\ Kg. = 84.44\ Kg.$$

$$Bioxido\ _\ de\ _\ carbono = \frac{772.97}{910.93} \times 248.66 = 210.99\ Kg.$$

$$Amoníaco = \frac{17.04}{910.93} \times 248.66 = 4.65\ Kg.$$

Convertimos el peso de los gases, hallados anteriormente, en volumen tomando los pesos específicos de cada uno ellos (ver Tabla N° 4.81)

$$Me\ tan\ o = \frac{84.44\ Kg.}{0.7167\ Kg. / m^3} = 117.83\ m^3$$

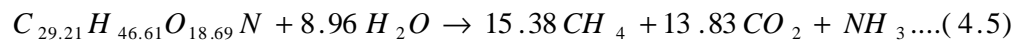
$$Bioxido\ _\ de\ _\ carbono = \frac{210.99\ Kg.}{1.9768\ Kg. / m^3} = 106.73\ m^3$$

$$Amoníaco = \frac{4.65\ Kg.}{0.7708\ Kg. / m^3} = 6.03\ m^3$$

Por lo tanto la cantidad total teórica del gas generado por peso seco del material orgánico, m³/Kg.

$$Total\ _\ Biogas = \frac{117.83\ m^3 + 106.73\ m^3}{248.66\ Kg.} = 0.903\ m^3 / Kg.$$

Distrito de los Olivos



(710.93mol) (161.56mol) (246.93mol) (608.52mol) (17.04mol)

Determinamos el peso del metano, dióxido de carbono y amoníaco de la ecuación obtenida anteriormente:

$$Me\ tan\ o = \frac{246.93}{710.93} \times 184.90\ Kg = 64.22\ Kg.$$

$$Bioxido\ _\ de\ _\ carbono = \frac{608.52}{710.93} \times 184.90 = 158.27\ Kg.$$

$$Amoniaco = \frac{17.04}{710.93} \times 184.90 = 4.43\ Kg.$$

Convertimos el peso de los gases, hallados anteriormente, en volumen tomando los pesos específicos de cada uno ellos (ver Tabla N° 4.81)

$$Me\ tan\ o = \frac{64.22\ Kg.}{0.7167\ Kg.\ / m^3} = 89.61\ m^3$$

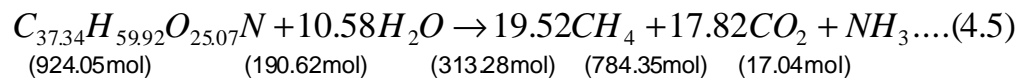
$$Bioxido\ _\ de\ _\ carbono = \frac{158.27\ Kg.}{1.9768\ Kg.\ / m^3} = 80.06\ m^3$$

$$Amoniaco = \frac{4.43\ Kg.}{0.7708\ Kg.\ / m^3} = 5.75\ m^3$$

Por lo tanto la cantidad total teórica del gas generado por peso seco del material orgánico, m³/Kg.

$$Total\ _\ Biogas = \frac{89.61\ m^3 + 80.06\ m^3}{184.90\ Kg.} = 0.918\ m^3 / Kg.$$

Distrito de los Puente Piedra



Determinamos el peso del metano, dióxido de carbono y amoníaco de la ecuación obtenida anteriormente:

$$Me\ tan\ o = \frac{313.28}{924.05} \times 171.06\ Kg = 57.99\ Kg.$$

$$Bioxido\ _\ de\ _\ carbono = \frac{784.35}{924.05} \times 171.06 = 145.19\ Kg.$$

$$Amoniaco = \frac{17.04}{924.05} \times 171.06 = 3.15\ Kg.$$

Convertimos el peso de los gases, hallados anteriormente, en volumen tomando los pesos específicos de cada uno ellos (ver Tabla N° 4.81)

$$Me\ tan\ o = \frac{57.99\ Kg.}{0.7167\ Kg./m^3} = 80.92\ m^3$$

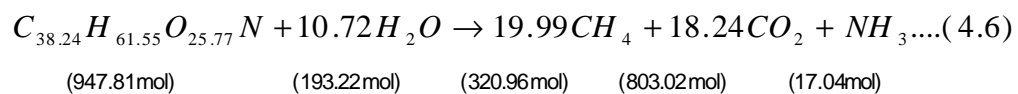
$$Bioxido\ _\text{de}\ _\text{carbono} = \frac{145.19\ Kg.}{1.9768\ Kg./m^3} = 73.45\ m^3$$

$$Amoniaco = \frac{3.15\ Kg.}{0.7708\ Kg./m^3} = 4.09\ m^3$$

Por lo tanto la cantidad total teórica del gas generado por peso seco del material orgánico, m³/Kg.

$$Total\ _\text{Biogas} = \frac{80.92m^3 + 73.45m^3}{171.06\ Kg.} = 0.902m^3 / Kg.$$

Distrito de San Martín de Porres



Determinamos el peso del metano, dióxido de carbono y amoníaco de la ecuación obtenida anteriormente:

$$Me\ tan\ o = \frac{320.96}{947.81} \times 297.00\ Kg. = 100.58\ Kg.$$

$$Bioxido\ _\text{de}\ _\text{carbono} = \frac{803.02}{947.81} \times 297.00 = 251.63\ Kg.$$

$$Amoniaco = \frac{17.04}{947.81} \times 297.00 = 5.34\ Kg.$$

Convertimos el peso de los gases, hallados anteriormente, en volumen tomando los pesos específicos de cada uno ellos (ver Tabla N° 4.81)

$$Me\ tan\ o = \frac{100.58\ Kg.}{0.7167\ Kg./m^3} = 140.33m^3$$

$$Bioxido\ _\text{de}\ _\text{carbono} = \frac{251.63\ Kg.}{1.9768\ Kg./m^3} = 127.29m^3$$

$$Amoniaco = \frac{5.34\ Kg.}{0.7708\ Kg./m^3} = 6.93m^3$$

Por lo tanto la cantidad total teórica del gas generado por peso seco del material orgánico, m³/Kg.

$$Total _ Biogas = \frac{140.33m^3 + 127.29m^3}{297.00Kg} = 0.901m^3 / Kg.$$

Distrito de Ventanilla



(967.01mol)

(195.98mol)

(326.87mol)

(819.08mol)

(17.04mol)

Determinamos el peso del metano, dióxido de carbono y amoníaco de la ecuación obtenida anteriormente:

$$Me \ tan \ o = \frac{326.87}{967.01} \times 193.44 \ Kg = 65.39 \ Kg.$$

$$Bioxido _ de _ carbono = \frac{819.08}{967.01} \times 193.44 = 163.85 \ Kg.$$

$$Amoniacos = \frac{17.04}{967.01} \times 193.44 = 3.41 \ Kg.$$

Convertimos el peso de los gases, hallados anteriormente, en volumen tomando los pesos específicos de cada uno ellos (ver Tabla N° 4.81)

$$Me \ tan \ o = \frac{65.39 \ Kg}{0.7167 \ Kg / m^3} = 91.23 \ m^3$$

$$Bioxido _ de _ carbono = \frac{163.85 \ Kg}{1.9768 \ Kg / m^3} = 82.88 \ m^3$$

$$Amoniacos = \frac{3.41 \ Kg}{0.7708 \ Kg / m^3} = 4.42 \ m^3$$

Por lo tanto la cantidad total teórica del gas generado por peso seco del material orgánico, m³/Kg.

$$Total _ Biogas = \frac{91.23 \ m^3 + 82.88 \ m^3}{193.44 \ Kg} = 0.900 \ m^3 / Kg.$$

CAPITULO V

EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONOMICA Y DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGIA TERMICA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS.

6. Evaluación Técnica de la producción de Energía Térmica

Para la evaluación técnica de la posibilidad de obtención de energía térmica a través de los RSD fue necesario realizar el análisis de la materia orgánica presente en ellos, a través de sus características físicas químicas como por ejemplo; el Porcentajes de humedad, Producción Per. Capita, Densidad¹⁰¹, Poder Calorífico Inferior, energía calorífica y otros la materia orgánica presente en los RSD más el aire y el agua, sometida a una presión y temperatura constante, hace que los desperdicios sólidos comiencen a descomponerse por un proceso natural en el cual se producen diferentes gases, entre ellos el metano, dióxido de carbono, además de hidrógeno, nitrógeno y ácido sulfhídrico en menor cantidad¹⁰². La mezcla de gases que se obtiene a partir de la descomposición de los residuos orgánicos, como el estiércol

¹⁰¹ Ver Tabla Nº 5.2

¹⁰² Ver Tabla Nº 5.1

animal, los productos vegetales o residuos domiciliarios, en un ambiente anaerobio (sin oxígeno), se conoce como “biogás”.

El biogás es una mezcla gaseosa compuesta principalmente por metano y anhídrido carbónico además de oxígeno, hidrógeno y trazas de ácido sulfhídrico. Normalmente el porcentaje de metano (CH_4) se encuentra entre 40-70% y el anhídrido carbónico (CO_2) en un 30 y 60%.

Tabla Nº 5.0 Composición Típica del Biogás¹⁰³

Composición	Porcentaje ¹⁰⁴ del Volumen	Porcentaje ¹⁰⁵
CH_4	40 – 70	51.09
CO_2	30 – 60	46.32
Otros gases	1-5	2.59

Entre los problemas más frecuentes, dentro del proceso de producción de biogás, se encuentra la disminución del porcentaje de metano (CH_4), llegando a niveles inferiores al 45 % o igualando el porcentaje de dióxido de carbono (CO_2) presente, además de la entrada de aire al sistema. Estos problemas implican la disminución del poder calorífico y además de la inhibición, en parte, de la producción del gas debiéndose estos problemas principalmente a las condiciones de operación del digestor.

Además de obtener biogás, se obtiene un valioso subproducto consistente en un fertilizante de excelente calidad, rico en nitrógeno y con una cantidad mínima de gérmenes y larvas que causan enfermedades parasitarias, todo esto debido al proceso de fermentación de las bacterias anaeróbicas. Al combustionar este gas se produce una llama azul inestable que produce una buena cantidad de calor, lo que permite una amplia gama de opciones para su utilización.

¹⁰³ CORPODIB “Corporación para el desarrollo Industrial de la biotecnología y Producción Limpia ” Estudio sobre la “**Generación de biogás y abono biológico por degradación anaerobia de residuos orgánicos**”

¹⁰⁴ Rango de valor tomado del estudio realizado por la UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR; **Cristhian J. Lobos, Manuel Saavedra; 7 de Julio de 1999.**

¹⁰⁵ Rango obtenido en base a los resultados hallados para los distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana que forman parte del estudio.

Tabla N° 5.1 Composición Volumétrica de los gases presentes en los RSD en los distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana.

Distritos	CH₄ (m³/Kg.)	CO₂ (m³/Kg.)	NH₃ (m³/Kg.)
Ancón	0.469	0.428	0.022
Carabaylo	0.472	0.429	0.023
Comas	0.470	0.428	0.022
Independencia	0.474	0.429	0.024
los olivos	0.485	0.433	0.031
Puente piedra	0.473	0.429	0.024
SMP	0.473	0.429	0.023
Ventanilla	0.472	0.428	0.023
Promedio	0.473	0.429	0.024

Durante la descomposición de la Materia orgánica de los RSD se producen diferentes gases, como el metano, en cantidad de 0.473 m³/Kg., dióxido de carbono en 0.429 m³/Kg., y el amoniaco en cantidad 0.024 m³/Kg. Todos estos valores mencionados son en promedio para el Cono Norte de Lima Metropolitana.

Todas estas formas de combustibles económicos y renovables; se podrían utilizar en vehículos de motor para alumbrado y para usos industriales. El aprovechamiento energético en base a los RSD tiene mucha importancia en los países en desarrollo y en los industrializados está aumentando la atención por este combustible para intentar reducir la dependencia actual del petróleo.

Los beneficios ambientales que reporta la utilización de este tipo de energía renovable son inmejorables, ya que permite utilizar residuos que contaminan, para generar energía limpia y económicamente conveniente.

Tabla Nº 5.2 PRODUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL CONO NORTE DE LIMA METROPOLITANA

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE ANCÓN (%)									
Producción Per. Cápite (Kg./hab./día) 0.456				Densidad (Kg./m ³) 182.637			Humedad 51.05%		
Materia Orgánica	Papel	Cartón	Metal	Plástico Rígido	Plástico Liviano	Vidrio	Trapo	Material Inerte	Otros
30.14	8.50	3.01	2.31	3.15	7.18	2.49	2.39	30.05	7.78

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE CARABAYLLO (%)									
Producción Per. Cápite (Kg./Hab./día) 0.357				Densidad (Kg./m ³) 173.31			Humedad 39.73%		
Materia Orgánica	Papel	Cartón	Latas	Plástico Rígido	Plástico Liviano	Vidrio	Trapo	Material Inerte	Otros
32.72	11.24	2.29	2.32	3.00	6.83	2.29	5.16	18.64	3.91

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE COMAS (%)									
Producción Per. Cápite (Kg./Hab./día) 0.484				Densidad (Kg./m ³) 194.41			Humedad 56.20%		
Materia Orgánica	Papel	Cartón	Metal	Plástico Rígido	Plástico Liviano	Vidrio	Trapo	Material Inerte	Otros
34.26	11.12	2.96	2.73	3.83	8.20	2.25	3.39	22.51	8.75

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA (%)									
Producción Per. Cápite (Kg./Hab./día) 0.438				Densidad (Kg./m ³) 196.81			Humedad 60.21 %		
Materia Orgánica	Papel	Cartón	Metal	Plástico Rígido	Plástico Liviano	Vidrio	Trapo	Material Inerte	Otros
41.46	10.26	2.90	2.71	3.00	5.11	2.37	4.09	17.61	10.49

/Continúa Tabla Nº 5.2/..

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE LOS OLIVOS (%)								
Producción Per. Cápit (Kg./Hab./día) 0.581				Densidad (Kg./m ³) 189.56			Humedad 67.11%	
Materia Orgánica	Papel	Cartón	Metal	Plástico Rígido	Plástico Liviano	Vidrio	Trapo	Material Inerte
41.20	3.39	1.08	3.51	4.00	5.11	3.37	2.08	36.26

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES (%)									
Producción Per. Cápit (Kg./Hab./día) 0.581				Densidad (Kg./m ³) 189.557			Humedad 57.66%		
Materia Orgánica	Papel	Cartón	Metal	Plástico Rígido	Plástico Liviano	Vidrio	Trapo	Material Inerte	Otros
47.06	14.09	2.51	1.71	3.14	5.21	0.96	3.44	19.53	2.45

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE DISTRITO DE PUENTE PIEDRA (%)									
Producción Per. Cápit (Kg./Hab./día) 0.445				Densidad (Kg./m ³) 196.959			Humedad 66.27%		
Materia Orgánica	Papel	Cartón	Metal	Plástico Rígido	Plástico Liviano	Vidrio	Trapo	Material Inerte	Otros
28.03	6.21	3.01	2.12	3.83	6.02	1.87	3.98	38.33	6.6

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE DISTRITO DE VENTANILLA (%)											
Producción Per. Cápit (Kg./Hab./día) 0.488				Densidad (Kg./m ³) 201.64				Humedad 67.45%			
Materia Orgánica	Papel	Cartón	Metal	Plástico Rígido	Plástico Liviano	Vidrio	Trapo	Material Inerte	Otros mqnsp	Otros Peligrosos	Otros
29.879	8.922	2.103	2.299	3.324	4.38	3.228	3.742	10.549	21.691	7.137	3.809

Probablemente el principal inconveniente consiste en la creación de vertederos Municipales o plantas de tratamiento térmico, cuya finalidad será la producción de energía, lo que implica grandes extensiones de terreno que serán obtenidas de los terrenos municipales o bien afectando espacios de vegetación.

La tendencia actual en el correcto tratamiento de los residuos sólidos urbanos generados, queda determinada en los siguientes pasos:

- Recuperación y reciclaje de toda aquella fracción aprovechable (compost, papel-cartón, plásticos, etc.) mediante plantas de reciclaje de RSD., recogida selectiva de envases y otras técnicas de selección y recuperación. Teniendo en cuenta que el rendimiento de estos sistemas e instalaciones no es del 100 %, y que no todos los residuos son reciclables, resulta siempre una fracción importante de residuo considerado rechazo.
- Esta fracción, es factible de ser tratada a través de las nuevas tecnologías de valorización energética, obteniendo energía eléctrica y un residuo, la escoria, que puede ser eliminada en vertedero controlado o reutilizada en usos secundarios.
- El vertido controlado es en la actualidad la solución de mayor implantación. La tendencia futura es eliminar en vertedero únicamente la fracción que ha sido totalmente valorizada, primero mediante el reciclaje y después mediante incineración

El aprovechamiento de energía eléctrica se realiza hoy en día por dos vías; a partir de la combustión del biogás generado en los vertederos controlados de RSD y como producto de la fermentación anaerobia de la materia orgánica vertida, y también en plantas de tratamiento térmico, mediante el aprovechamiento del contenido energético propio de los residuos de la suma de ambos procesos, se deduce claramente que la fuente de materia prima importante que constituyen los RSD, considerable incluso como energía renovable, sobre todo si tenemos como

referencia que en España se producen más de 15 millones de toneladas de RSD¹⁰⁶.

Por ejemplo en los procesos de valorización es en donde existen los mayores retos tecnológicos. El aprovechamiento energético de estos residuos puede realizarse por dos vías: mediante procesos microbiológicos: fermentación anaerobia o biogasificación, y mediante procesos térmicos: pirolisis, gasificación y combustión.

Cada kilogramo de RSD deberá cumplir con un proceso para su aprovechamiento energético ya que la materia empleada (materia orgánica, papel y cartón) deberá pasar por un proceso de secado es decir quitar la humedad a la materia a emplear como se observa en la Tabla N° 5.3 por cada kilogramo de RSD y empleando solo la materia aprovechable (Materia orgánica, papel y cartón) se observa que el distrito de SMP es el que presenta una mayor cantidad de materia aprovechable 636.10 gr. en peso húmedo y 297.00 gr. de materia en peso seco; siendo este ultimo el verdaderamente aprovechable para la obtención de energía. Mientras que el distrito de Puente Piedra es el de menor cantidad de materia 372.05 gr. en peso húmedo y 171.06 gr. en peso seco.

Tabla N° 5.3 Relación de los Distritos en función a su peso Húmedo y Seco de la Materia Orgánica en los RSD de Lima Norte

Distrito	Peso Húmedo gr.	Peso Seco gr.
Ancón	386.50	189.92
Carabaylo	512.50	240.57
Comas	483.40	235.43
Independencia	546.50	248.66
los olivos	481.40	184.90
Puente piedra	372.50	171.06
SMP	636.10	297.00
Ventanilla	409.00	215.56
Promedio	478.49	222.89

¹⁰⁶ portalforestal.com/medioAmbiente/rsu.asp

Del mismo modo podemos también decir que en promedio el peso húmedo para los distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana oscila entre 478.49 gr. en peso húmedo y 222.89 gr. en peso seco; de lo anteriormente explicado podemos concluir que por cada kilogramo de RSD solo el 22.30% es aprovechado para la obtención de energía de los RSD.

El poder calorífico inferior de los RSD hallado en promedio para los distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana es de 2.635 Kcal./Kg. siendo el distrito de San Martín de Porres con 3.503 Kcal./Kg. el de mayor PCI y el distrito de Ancón el de menor PCI con 2119 Kcal./Kg.

TABLA Nº 5.4 Relación del PCI de los Distritos de Lima Norte

Distritos	PCI (Kcal. /Kg.)
Ancón	2.119
Carabaillo	2.798
Comas	2.652
Independencia	3.016
Los Olivos	2.691
Puente Piedra	2.055
SMP	3.503
Ventanilla	2.250
Total Cono Norte	2.635

El poder calorífico inferior (PCI) nos permite conocer la cantidad de calor que se puede producir con una cierta cantidad de combustible (sólido, líquido o gaseoso).

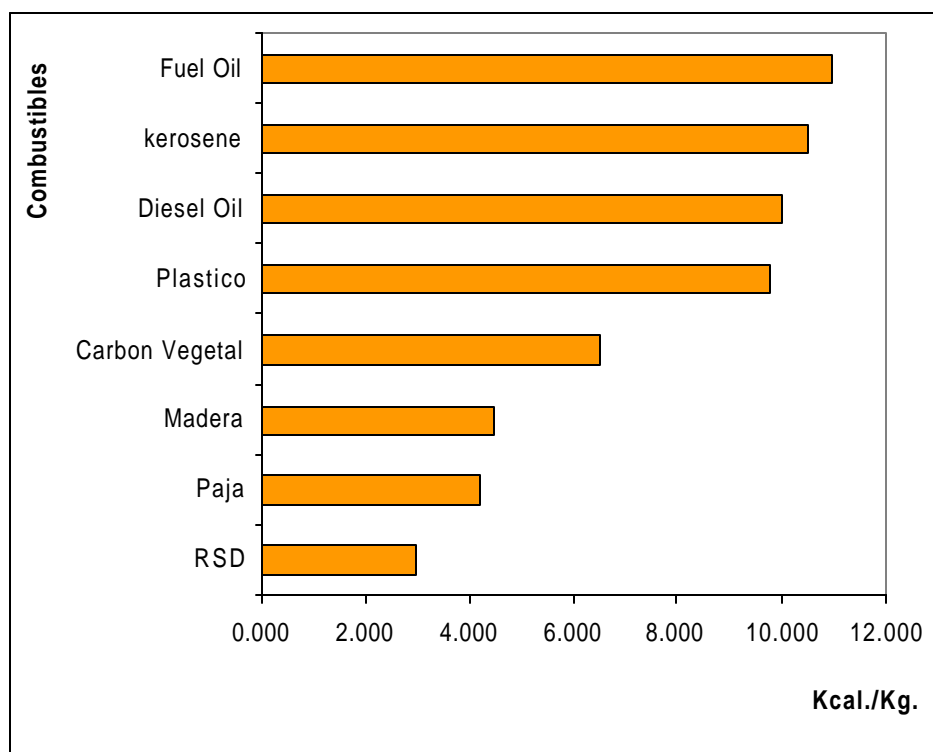
A continuación se enumera algunos combustibles con sus respectivos PCI.

TABLA Nº 5.5 Relación de los diversos Combustibles en función de su PCI.

Combustibles	PCI
RSD	2.635
Paja	4.180
Madera	4.450
Carbón Vegetal	6.500
Plástico	9.800
Diesel Oil	10.000
kerosene	10.500
Fuel Oil	11.000

De la tabla anterior podemos afirmar que los RSD presentan un PCI muy inferior a los demás combustibles presentes en el mercado, por debajo de la mitad al carbón Vegetal y una cuarta parte al del Kerosene; siendo estos los combustibles más usados en las clases populares del país. En base a los resultados hallados podemos concluir que si queremos tener un PCI similar al del carbón vegetal entonces se necesitaría 2,467 kg. de RSD; así mismo para obtener un PCI similar al del kerosene se necesitaría 3.985 Kg. de RSD

Grafico Nº 5.0 Relación de los diversos Combustibles en función de su PCI.



6.1 Procesos Térmicos.

Entre los procedimientos térmicos, la pirolisis es un proceso consistente en la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. En estos procesos se generan gases de capacidad calorífica media, aceites, alquitranes y un sólido resultante de una fracción no afectada por la pirolisis. Estos procesos

tienen el inconveniente de generar un considerable nivel de contaminación atmosférica y la dificultad de aplicar correctamente un calentamiento indirecto del residuo. El principal objetivo para la correcta aplicación de la pirolisis es conseguir la homogenización de cada uno de los productos generados, lo cual es complicado debido a la heterogeneidad de los RSD. Todo ello hace que estos procesos se apliquen en muy contados casos. Otro proceso térmico importante es la gasificación, que consiste en la conversión del residuo, mediante altas temperaturas en un gas combustible y reductor, a través de la reacción con agentes gasificantes, oxígeno y agua. Se produce finalmente un gas combustible con caudal muy reducido, lo cual es muy importante porque requerirá menor costo de limpieza posterior. Los agentes gasificantes que se utilizan suelen ser aire, O_2 y H_2O . Esto dependerá de la potencia calorífica del gas obtenido será mayor o menor.

Por último cabe citar la combustión que es un proceso de oxidación de la fracción orgánica de los RSD, a muy altas temperaturas y con exceso de aire. El proceso es muy costoso y es importante el aprovechamiento del calor producido, así como la recuperación de las cenizas para utilizarlas, por ejemplo, en obras públicas¹⁰⁷.

Actualmente existen plantas incineradoras de residuos con recuperación de energía, dadas las posibilidades de revalorización energética, en parte debida a

¹⁰⁷

Notas del autor se pueden incorporar las cenizas de RSU en pastas de cemento, tendencias recientes indican que se utilizan las cenizas de fondo y/o las cenizas volantes para proyectos de construcción, en especial para carreteras y caminos, esta práctica reduce los costos económicos que implica un relleno “de seguridad” para las cenizas, pero no impide la liberación de las sustancias químicas persistentes por la acción de la erosión así mismo estas cenizas se emplean también como fertilizantes, tenemos que tener en cuenta que el uso de cenizas procedentes de incineradores supone un peligro potencial para la salud humana, aunque ni la Unión Europea ni ningún gobierno han dictado medidas legislativas para acabar con esta práctica.

ciertas tendencias ecologistas que se oponen a su aplicación, desde el punto de vista tecnológico son muy discutibles sus argumentos ya que estas tecnologías pueden llegar a los más altos niveles de seguridad medioambiental. El biogás también es un producto que se obtiene de los RSD y puede ser utilizado como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogás con aire en una relación 1/20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas que tengan fugas, en recintos cerrados, hasta ahora no se ha informado sobre explosiones causadas por el biogás.

Tabla 5.6 Producción de biogás por m³ de los RSD en los distritos de Lima Norte.

Distrito	Volumen Biogás m³ por Kg.
Ancón	0.897
Carabaylo	0.901
Comas	0.897
Independencia	0.903
los olivos	0.918
Puente Piedra	0.902
SMP	0.901
Ventanilla	0.900
Promedio	0.902

Según estudios realizados por la Universidad Nacional Del Nordeste El poder calorífico del biogás es de 6 kW.-h / m³, lo cual equivale más o menos a 1/10 de diesel; por lo antes mencionado y de la tabla N° 5.4 podemos concluir que para el Cono Norte de lima el poder calorífico del Biogás en promedio es de 5.41 kW.-h/m³, lo cual equivale a 0.45 litros de diesel; según referencias del INER un metro cúbico de biogás es equivalente a¹⁰⁸ :

1 m ³ de Biogás	}	1.54 a 2.17 kg. de leña con 10% de humedad.
		0.45 a 0.63 lt. de gasolina
		0.44 a 0.55 kg. de gas de petróleo

¹⁰⁸ INER Instituto de Estudios Regionales, Universidad de Antioquia GEO SAT LTDA

Para el cono Norte podemos afirmar que por cada Kilogramo de RSD generado en el Cono Norte de Lima Metropolitana el biogás que se obtiene es equivalente a 0.41 a 0.57 lt. de gasolina; 1.39 a 1.96 Kg. de leña y 0.39 a 0.49 Kg. de gas de petróleo.

El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos. El suministro de aire influye considerablemente sobre el rendimiento. Una presión de gas de 5 a 20 cm. de columna de agua (a.C.) es la más apropiada para cocinar. Las lámparas necesitan unos 10 cm. de A.C. de presión. El ácido sulfhídrico del biogás con el agua condensada forma ácidos corrosivos, sobre todo, refrigeradores y aparatos de agua caliente son sensibles a estos ácidos. La cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero colado, de acero especial o de esmalte.

Con la ayuda de un filtro a partir de óxido de hierro se puede purificar el biogás. Para la utilización del gas en motores no es necesario filtrar el biogás, la presión del gas puede ser baja pues los motores lo succionan. Tampoco es rentable licuar el biogás. Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico. Se debe tener en cuenta que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares.

Las grandes longitudes de cañería y cambios de dirección repercuten en la caída de la presión. Estas deben tener determinada pendiente, y en su parte más baja un depósito para el agua condensada, para evitar que se produzcan cavitaciones, así mismo el depósito debe vaciarse periódicamente¹⁰⁹.

¹⁰⁹

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE Facultad de Ingeniería Cátedra: Máquinas Térmicas II Biomasa y Biogás Álvarez, José M. Caneta, Luciano Moyano, Carlos

Tabla Nº 5.7 Cálculo del Contenido Energético a partir de los Residuos Sólidos en los distritos de Lima Norte.

Distrito	Población Año 2004	Materia Orgánica Peso Seco Kg.	Kilogramo/Mes	Energía Promedio por Distrito en Kcal./Kg.	Energía Mensual Kcal./Kg.
Ancón	32,400.00	0.190	184,680.00	2744.772	5.069×10^{11}
Carabaillo	153,700.00	0.241	1,111,251.00	2631.094	2.924×10^{12}
Comas Independencia	502,953.00	0.235	3,545,818.65	2725.557	9.664×10^{12}
	210,807.00	0.249	1,574,728.29	2542.66	4.004×10^{12}
Los Olivos	310,415.00	0.185	1,722,803.25	2021.459	3.483×10^{12}
Puente Piedra	177,974.00	0.171	913,006.62	2561.312	2.338×10^{12}
SMP	479,921.00	0.297	4,276,096.11	2617.86	1.119×10^{13}
Ventanilla	175,863.00	0.216	1,139,592.24	2649.837	3.020×10^{12}
TOTAL CONO NORTE	2,044,033.00	0.223	13,674,580.77		37.13×10^{12}

Para determinar el potencial energético que se podría obtener de los RSD en base a la materia orgánica, papel y cartón en el cono Norte de Lima Metropolitana, se realizó en función a su peso seco para una estimación de la población para el año 2004; por ejemplo se sabe que la producción Per. Capita de Ancón es de 0,456 Kg. en peso húmedo; siendo el peso seco, lo aprovechable, 0.190 kg., generando mensualmente 184,680.00 Kg./mes de materia aprovechable los que nos permite obtener 5.069×10^{11} Kcal./Kg. En conclusión podemos decir que para el distrito del Cono Norte de Lima Metropolitana se puede obtener 37.13×10^{12} Tera cal. /Kg. de energía térmica aprovechable en un mes.

Tabla N° 5.8 Relación en porcentaje de los componentes químicos de los diversos combustibles y los RSD.

Residuo	Paja	Carbón	Madera	RSD Cono Norte Lima
Cenizas %	4	12	1,5	5,36
C %	42	59	50	45,78
H %	5	3,5	6	6,18
O %	37	7,3	43	40,82
N %	0,4	1,0	0,3	1,45
S %	0,15	0,8	0,05	0,237
PCI Kcal. /kg.	4,180	7,360	4,450	2,635

Según los datos representados en la Tabla N° 5.8 podemos inferir que los RSD tienen características en componentes químicos muy similares a la madera y la paja.

6.2 Evaluación Técnica del proyecto.

Los problemas de gestión en cuanto a la recuperación de energía están relacionados con el empleo único de los materiales combustibles de los RSD, frente a los variados usos múltiples posibles con la recuperación de materiales y el reciclaje. La energía presente en los residuos sólidos se emite en cantidades comerciales solamente cuando los materiales sufren cambios radicales, dejando los residuos inservibles para usos secundarios. Los puntos técnicos importantes a tratar aquí serían:

1. Evaluar la idoneidad de los residuos como combustible.
2. Selección de la tecnología de producción y recuperación de energía.
3. Negociación de un acuerdo de venta de energía (Térmica o Eléctrica).
4. Desarrollo de una estrategia para riesgos y garantías.
5. Adquisición de un lugar para evacuar los residuos de los procesos de generación de energía.
6. Desarrollo de una instalación para la recuperación de energía que la comunidad pueda pagar.

6.2.1 Idoneidad de los residuos como combustible.

La recuperación de energía depende del contenido energético de los residuos sólidos; para ser viable la instalación para la recuperación de energía debe regularmente recibir combustible de residuos adecuado; El problema de la idoneidad tiene que ver con la calidad y cantidad; la producción de RSD mensual en los distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana es de 34'236,328.20 Tn. del cual solo 13,674.58 TN (Materia Orgánica en peso seco) son las aprovechables para la obtención energética; Por lo tanto, el contenido energético medido en la etapa de planificación de una instalación puede cambiar con el tiempo, cuando la cantidad y calidad de los residuos sólidos sean alterados por otras actividades de desviación de residuos (como reciclaje de estos para el empleo de otras actividades). Así mismo es de suma importancia que las instalaciones para la recuperación de energía deben de disponer de suficiente flexibilidad para reaccionar a los cambios de cantidad y calidad de los residuos sin suspensión del trabajo. Según los datos y los cálculos realizados podemos afirmar que la producción de energía Térmica aprovechable hallada para el distrito del Cono Norte de Lima Metropolitana es de 37.13×10^{12} Tera cal./Kg. mensuales como se observo en la Tabla N° 57.

6.2.2 Selección de la tecnología de producción y recuperación de energía.

En esta parte hay que considerar que en el proceso de selección de la tecnología tenemos que considerar ciertos puntos:

- La Fiabilidad.
- Costos.
- Cumplimiento de las normativas ambientales.

6.2.2.1 La fiabilidad.

Mide el rendimiento de la tecnología durante un periodo de años específicos, normalmente el periodo de pago del financiamiento utilizado para la construcción de la instalación del equipo. Otra forma de medir la fiabilidad es a través del cumplimiento de las especificaciones sobre la venta de combustible o energía.

6.2.2.2 Costos.

Es una forma de medir la eficacia de la tecnología; el costo es medido desde los gastos iniciales de la construcción incluyéndose el costo de financiamiento de la instalación y operación a largo plazo, y los costos de reemplazo.

6.2.2.3 Cumplimiento.

El cumplimiento de la normativa se mide a través el rendimiento de la tecnología para lograr los niveles de descarga fijados por las agencias regulatorias o instituciones de salud o medio ambiente encargadas para dicha función, actualmente existen normas que fijan la descarga a la atmósfera, aguas y suelos pero dichas normas no son respetadas por varias empresas, muchas veces porque las instituciones fiscalizadoras no ejercen una verdadera labor.

6.2.3 Negociación de un acuerdo de venta de energía.

La utilización de las energías renovables y el uso racional de la energía en general, constituyen estrategias básicas para cualquier país que busca el desarrollo sostenible. En el Perú, ello implica la necesidad de realizar actividades de conversión energética, evaluar y aplicar nuevas tecnologías y desarrollar programas de capacitación que permitan una mayor difusión de estos temas¹¹⁰, también es cierto que en la mayoría de los casos la energía

¹¹⁰ FONAM PERU Documento de Concepto Seminario Internacional "Oportunidades de Negocio en Manejo de Residuos Orgánicos: Generación de Energía y Mdl" 4/11/2003

recuperada de los residuos sólidos se puede comercializar en forma de briquetas o pelets, como combustible para calderas o instalaciones que usen biogás o electricidad entre otros. Por lo general los usuarios deberán elegir entre otras fuentes energéticas en competencia tales como el petróleo, aceite, GLP, gas natural, carbón y RSD, basándose en la economía relativa, incluyendo los impactos económicos, así mismo las recientes discusiones sobre política y economía energética, sumada al impacto negativo del consumo de combustibles fósiles y su rápido incremento de su precio, han conducido a una creciente demanda en la utilización de energía renovable. En este contexto, la biomasa y la producción de biocombustibles sólidos, líquidos o gaseosos (como el biogás) se presentan como una opción especialmente prometedora, siendo su aprovechamiento energético el resultado de diversos procesos físicos, químicos y biológicos. La gestión es obtener un acuerdo de venta de energía en los términos económicos que sea capaz de producir una alternativa viable que la comunidad pueda soportar mediante una combinación de ingresos.

6.2.4 Desarrollo de una estrategia para riesgos y garantías.

Las instalaciones para la recuperación de energía tienen riesgos asociados con la tecnología, las ventas de energía y las normas ambientales. Como es tan amplia la exposición al riesgo, los temas de gestión tratan de fijar el nivel de riesgo dentro de los medios financieros de la comunidad. Por lo general el riesgo de la comunidad es menor cuanto mas control tenga sobre la tecnología, los costos y la respuesta a la normativa.

El reparto de riesgo es una buena estrategia, como lo es contratar un seguro o una carta de crédito. La comunidad pagara un riesgo compartido, pero el pago asegurara que el proyecto rendirá con un costo y un riesgo aceptable.

6.2.5 Adquisición de un lugar para evacuar los rechazos de los procesos de generación de energía.

La fase de producción de energía genera desperdicios que hay que evacuar en vertederos. Los temas de gestión están relacionados con la localización y la capacidad del vertedero. Como la recuperación de energía es para reducir el volumen de los residuos sólidos que van al vertedero, las comunas pueden resistirse a un vertedero nuevo donde sean depositados, muchas veces por cuestiones de costos principalmente. También los depósitos pueden contener contaminantes, procedentes de las reacciones físicas y químicas producidas por el empleo de estos anteriormente como en un proceso de incineración, el cual hace que los residuos sean inaceptables para ser desplazados a un vertedero ya existente.

6.2.6 Desarrollo de una instalación para la recuperación de energía que la comunidad pueda pagar.

Como la recuperación de la energía ocupa la última posición en las prioridades de jerarquía de la gestión integral de residuos deben medirse sus costos frente a los costos de otras instalaciones y debe evaluarse el total de todos los costos frente a las posibilidades para pagar de la comunidad. La cuestión de gestión es el riesgo de fluctuaciones en los costos que podrían incrementar los costos de la comunidad hasta hacerlos inaccesibles.

6.2.7 Evaluación Económica del proyecto.

El manejo de los residuos sólidos debe incluir una adecuada planificación, diseño y utilización de tecnologías y prácticas apropiadas para ser fuente de beneficio social y económico a través de la creación de nuevas oportunidades de empleo local y de generación de ingreso por la venta de materiales usados, ahorro de energía por el reprocesamiento de materiales reutilizables segregados de los desechos, y la prevención de costos generados por la

degradación ambiental, la seguridad y la asistencia médica de personas contaminadas.

Desde el punto de vista económico, la minimización de residuos puede generar, si las condiciones de mercado lo permiten, un ahorro monetario a la sociedad al extender la vida útil de rellenos sanitarios y, por ende, postergar en costos de reemplazo futuro para disposición final. Un buen manejo de residuos optimiza la utilización de los recursos naturales, especialmente los no renovables, y puede contribuir para la recuperación de áreas degradadas, por ejemplo por la minería, mediante la implantación de rellenos sanitarios bien construidos que queden integrados al paisaje natural.

Uno de los principales impactos benéficos del manejo adecuado de los residuos sólidos es la recuperación de materiales reciclables y reusables, que además de contribuir para resolver el problema de los residuos, tiene el potencial de crear conciencia comunitaria en las campañas de recolección selectiva.

El manejo adecuado de residuos sólidos debe considerar los siguientes aspectos:

- Las características físicas y el volumen de basura existente a ser manejado.
- Características urbanísticas: uso del suelo, tendencias, proyección de la población, del volumen y de las características de la basura considerados en un plazo futuro de 8-10 años, disponibilidad de terreno apropiado para instalaciones de tratamiento y disposición final de los residuos, aspectos culturales y de comportamiento locales en relación al manejo de la basura (segregación y rehusó de desechos), grado de organización comunitaria.

- Planificación apropiada que refleje la vida útil de los equipos mecánicos y del sistema de disposición final de residuos. Características operacionales del sistema actual de manejo de residuos, su efectividad y conveniencia.
- Organización institucional, arreglos financieros y fuentes de ingresos.
- Actividades industriales presentes y futuras.
- Estado actual de las calles y avenidas, planes de mejoramiento y extensión de las mismas.
- Recursos hídricos que deben ser protegidos de la posible contaminación originada por los sitios de disposición de residuos.
- Mercado potencial para materiales de rehusó o reciclables.

6.2.8 Costos Beneficios de una Planta de Biogás en Función de los RSD

Una planta de biogás permite suministrar energía y abono, así como mejorar las condiciones higiénicas permitiendo de esta manera no dañar el medio ambiente, así mismo podemos decir que es una fuente de energía moderna y alterna que puede aplicarse en viviendas ubicadas en zona peri urbanas y rurales, puede ser montada en el lugar donde se consumirá la energía, evitando los extensos y caros tendidos eléctricos, es renovable y con un mínimo mantenimiento; además de no necesitar un alto grado de capacitación para operarlas.

La principal limitación para el uso de los combustibles en base a biomasa o biogás es el precio. El programa de precios de la energía en el mundo necesita revisarse porque no hay forma de que el Convenio sobre el Cambio Climático pueda aplicarse con los precios actuales del petróleo. En las condiciones de hoy, los combustibles de petróleo se han incrementado considerablemente y muchos de estos recursos renovables pueden competir con ellos

TABLA Nº 5.9 Costos de la producir un KW/H en función del Biogás para los diversos países del mundo.

País	Precio	Características del Biogás
España ¹¹¹	7,67 cts. de euros kWh o \$8,89 centavos USD/Kwh. hasta una potencia máxima de 500 kilovatios (en la antigua EEG/LER 7,67 céntimos) 6,65 cts. de euros kWh o \$7,71 centavos USD/Kwh. hasta una potencia máxima de 5 MW (en la antigua EEG/LER 6,65 céntimos)	la generación de biogás se circunscribe al aprovechado en vertederos y en plantas depuradoras de aguas residuales además de estiércol, tanto de vacuno como de porcino, donde no siempre se aprovecha este recurso
Alemania ¹¹²	17,9 cts. de euros kWh o \$20,76 centavos USD/Kwh. hasta los 500Kw y 5MW con 14,9 cts. de euros kWh o \$17,28 centavos USD/Kwh.	la generación de biogás aprovechado en vertederos es en base a los residuos sólidos domiciliarios, aunque también aprovechan las agua residuales
Colombia ¹¹³	El valor del biogás es de aprox. \$3.5 centavos USD/Kwh. basado en los índices promedios mayorista	La generación del biogás es utilizando materia orgánica y residuos de animales como el cerdo, caballo.
México ¹¹⁴	Los costos de inversión en proyectos con esta tecnología se encuentran en un rango de 630 a 1,170 dólares por KW instalado, con lo que la electricidad producida tiene un costo de 4 a 6 centavos de dólar por Kwh. generado	La generación del biogás es utilizando materia orgánica y así mismo plantas residuos de vagazo etc.
Chile ¹¹⁵	Los costos de generar 1 Kw. /h en base a biogás es de \$ 6.20 cts.	La generación de Biogás esta función de la materia orgánica de los RSD
Perú ¹¹⁶	El costo de generar un Kw./h debería estar en el rango de \$ 4 a 6.50 centavos de dólar	La materia utilizada esta en base a los Residuos Sólidos conformado por materia orgánica.

nalmente, de la tabla anterior se desprende que, a los precios actuales de la energía eléctrica, no se esperaría que la conversión energética del biogás fuese rentable por sí sola. En efecto, las inversiones en recolección y en

¹¹¹ La nueva EEG (Ley de Energías Renovables - LER). Hans-Josef Fell MdB.

¹¹² Un nuevo plan de energías renovables sin digestión anaerobia agrícola

¹¹³ Estudio de PRE-factibilidad para la recuperación de biogás y producción de energía relleno sanitario el carrasco Bucaramanga, Colombia, EL BANCO MUNDIAL 1818 H Street, NW Washington, DC Preparado por: SCS Engineers 11260 Roger Bacon Drive Reston, Virginia, Junio del 2005 File No. 02204055.03

¹¹⁴ Secretaría de Energía del Gobierno Mexicano

¹¹⁵ Estudio de políticas de abatimiento de gas de efecto invernadero y desarrollo económico: Sinergias y desafíos en el sector de los rellenos sanitarios en el caso de Chile Sebastián Valdés De F. Octubre 2004.

¹¹⁶ Los costos de la inversión son obtenidos en base a los promedios de los países de Sudamérica, los cuales tienen realidades similares al Perú.

conversión hacen prohibitivo el emprender este tipo de proyectos sin participación en el MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio).

Utilizar la energía producida para ahorrar dinero en la explotación no es cosa fácil. Existen dos posibilidades:

- a) Quemar el gas en un calentador para producir agua caliente.
- b) Utilizar el biogás para alimentar un motor de combustión interna conectado a un generador de corriente eléctrica.

El biogás puede quemarse directamente en un calentador de agua; el quemador ha de ser del mismo tipo que para gas GLP, o sea, con una presión de trabajo de 100 a 150 mm A.C. y de boca ancha. En verano, que es cuando se produce la mayor cantidad de gas, las necesidades de calefacción son mínimas, por lo que una buena parte del combustible no puede ser utilizada.

El gas puede alimentar un motor que accione un generador, la energía eléctrica es más fácil de transportar. En el mercado podemos encontrar una variedad de motores fijos modificados para funcionar con metano, y del cual se recupera el calor residual del agua de refrigeración y los gases de escape, que puede ser más que suficiente para mantener la temperatura del digestor.

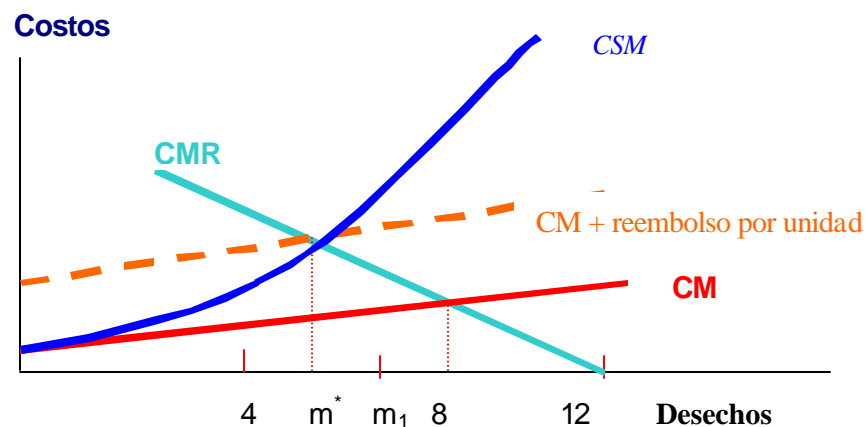
6.2.9 El reciclado.

La sociedad se deshará de excesivos residuos cuando a los consumidores o los productores les cueste poco o nada hacerlo. La excesiva utilización de materias primas vírgenes y la infrautilización de materiales reciclados provocaran un fallo en el mercado que podría exigir la intervención del estado. Afortunadamente, si se dan los debidos incentivos para que reciclen los productos, es posible corregir este fallo del mercado¹¹⁷.

¹¹⁷ Incluso sin intervención del mercado, se reciclara algo si el precio de las materias primas vírgenes es suficientemente alto. Por ejemplo, cuando el precio del cobre es alto, se reciclara mas cobre procedente de la chatarra.

El bajo costo del vertido crea una divergencia entre el costo privado y el social. El costo privado marginal del vertido, que es el costo que tiene para el hogar el desecho de la basura probablemente es constante (independientemente de la cantidad de residuos del que se deshaga) ahora si la cantidad de la que se deshace es baja o moderada y aumenta a medida que es mayor e implica unos gastos adicionales de transporte y vertido. En cambio, el costo social comprende el daño que causa al medio ambiente el vertido de basuras. Es probable que el costo social marginal aumente, debido en parte a que el costo privado marginal es creciente y, en parte, a que es probable que los costos ecológicos y estéticos del vertido de basuras aumenten acusadamente conforme aumenta la cantidad de vertidos.

Figura Nº 5.1 LA CANTIDAD EFICIENTE DE RECICLADO¹¹⁸.



La cantidad eficiente de reciclado de material de desecho es la que iguala el costo social marginal de la eliminación de desechos, CSM, y el costo marginal del reciclado, CMR. La cantidad eficiente de desechos vertidos m^* es menor que la que surgiría en un mercado privado, m_1 .

La figura Nº 5.1 muestra las dos curvas de costos. El eje de abscisas mide de izquierda a derecha la cantidad de materiales de desecho m de la que se

¹¹⁸ Microeconomía Robert S. Pindyck Capítulo 18 pág. 663

deshace el hogar hasta un máximo de 12 kilos a la semana. Por consiguiente, la cantidad reciclada puede hallarse de derecha a izquierda. A medida que aumenta la cantidad de desechos vertidos, el costo privado marginal, CM, aumenta, pero a una tasa mucho menor que el costo social marginal CSM.

Los residuos pueden ser reciclados por el municipio o por una empresa privada que se ocupe de la recogida, la fusión, procesamiento y transformación de los materiales. Es probable que el costo marginal del reciclado aumente conforme sea mayor la cantidad reciclada, debido en parte, a que los costos de recogida, separación y limpieza aumentan a una tasa cada vez mayor. La curva de costo marginal del reciclado, CMR, de la Figura N° 5.1 se entiende mejor si se considera de derecha a izquierda.

Así cuando hay 12 kilos de materiales vertidos, no hay reciclado y el costo marginal es cero. A medida que disminuye la cantidad de desechos, aumenta la cantidad de reciclado, así como su costo marginal.

La cantidad eficiente de reciclado se encuentra en el punto en el que el costo marginal del reciclado, CMR, es igual al costo social marginal del vertido, CSM.

Como se muestra en la Figura N° 5, la cantidad eficiente de desechos vertidos m^* es menor que la cantidad que surgirá en un mercado privado, m_1 .

6.3 Pasos a seguir en una evaluación económica para este tipo de proyectos.

- Paso 1. Preparar un informe de viabilidad sobre la rentabilidad de las tecnologías de evacuación.
- Paso 2. Seleccionar una tecnología de gestión de residuos y presentar las alternativas contractuales y de negocios.
- Paso 3. Evaluar propuestas y negociar con una empresa privada para construir, explorar y ser propietario de una planta de recuperación de energía.

- Paso 4. Negociar los contratos necesarios pudiendo hacerlo el gestor de los residuos sólidos, el asesor legal de la comunidad y el consejero municipal de la comunidad.
- Paso 5. Establecer un control de flujo de residuos para la comunidad.
- Paso 6. Desarrollar una estrategia para incrementar las tarifas del servicio de evacuación hasta el nivel aceptable para los residentes y negocios de la comunidad.

El éxito de un proyecto dependerá del trabajo en equipo que puedan realizar la empresa pública y la industria privada para obtener mutuo beneficio.

6.4 Evaluación de la producción de Energía Térmica partir de los Residuos Sólidos.

La producción y utilización de energía en función de los RSD como combustible, podría significar para el Perú una de las fuentes mas interesantes de “autoabastecimiento energético”, debido a las implicancias en sustitución de combustibles, ahorro, y generación de subproductos con valor comercial, ventajas que pueden ser aprovechadas tanto por las pequeñas, medianas y grandes industrias como por los gobiernos locales y regionales.

Bajo esta premisa, los desperdicios orgánicos dejan de ser un problema, convirtiéndose en un recurso energético y una fuente de ingresos adicionales.

A través del uso de este recurso como combustible, la rentabilidad de los negocios puede crecer y al mismo tiempo contribuir a mejorar el medio ambiente en temas relacionados con el cambio climático y la contaminación local.

En este contexto, el aprovechamiento energético se presenta como una oportunidad de desarrollo para proyectos que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero por sustitución de combustibles fósiles, ofreciendo la opción de negociar la venta de estas emisiones a mercados especializados a través de los denominados “certificados de carbono”.

6.4.1 Desarrollo de Equipos Eficientes de Generación de Energía Térmica a partir de Residuos Sólidos.

El aprovechamiento energético de los desperdicios orgánicos deja de ser un problema, convirtiéndose en un recurso energético y una fuente de ingresos adicionales. En la actualidad las prestaciones de los equipos de generación de energía térmica a partir de residuos sólidos (rendimiento energético, niveles de emisión de partículas, cenizas generadas, etc.) pueden ser mejorados con un adecuado diseño. Sobre todo los de menor potencia.

Las posibilidades de empleo de los residuos sólidos para usos térmicos son elevadas, pudiéndose indicar al respecto las siguientes:

- Calentamiento de agua para calefacción en colegios, club de madres, postas médicas, etc.
- Calentamiento del agua de piscinas públicas y municipales.
- Generación de vapor en calderas industriales para postas médicas, comedores populares.
- Generación de aire caliente en secaderos.
- Generación de calor en hornos (producción de pan, ladrillos).
- Calefacción de viviendas.

Tabla Nº 5.10 Requerimiento típico de materiales, energía y emisiones durante la fabricación de diversos materiales y empleo como combustible¹¹⁹.

Material*	Requerimiento de materiales y energía	Emisiones
Acero	894 Kg. de mineral de hierro 359 Kg. de carbón mineral 206 Kg. de caliza 8.497 W/hora de energía	244 Kg. de residuos sólidos 110 Kg. de contaminantes en el aire 200 m ³ de biogás
Aluminio	3 981 Kg. de bauxita 463 Kg. de hulla 438 Kg. de óxido de sodio 108 Kg. de caliza 57.720 W/hora de energía	1 492 Kg. de bauxita 1 315 Kg. de dióxido de carbono 36 Kg. de contaminantes en el aire 358 Kg. de residuos sólidos
Vidrio	603 Kg. de arena 196 Kg. de cloruro de potasio 196 Kg. de caliza 4.454 W/hora de energía	174 Kg. de desechos de extracción 13 Kg. de contaminantes en el aire.
Pintura al aceite	Para un 1 Kg. 170 kW./h	28 m ³ de biogás
Buses	1 Km. recorrido en un camión, 1.5 kW./h 1 Km. para recorrido en bus, 0.5 kW./h	1.05 m ³ de biogás para los camiones 0.35 m ³ de biogás para los automóviles

Con tecnologías adecuadas de transformación energética el costo de operación de los equipos que emplean energía de residuos sólidos pueden ser competitivos con los costos de los que emplean combustibles fósiles como el gasóleo de calefacción, el gas natural o los gases licuados del petróleo, ya que los precios por unidad de energía (S/. /Kw.) de estos últimos pueden llegar a ser verdaderamente iguales o superiores a los de la energía térmica obtenida de residuos sólidos. El manejo de los residuos sólidos orgánicos puede generar ingresos no sólo por la venta de energía y el ahorro en costos (debido a la sustitución de combustible), sino también por la venta de Certificados de Emisiones Reducidas (CER's).

¹¹⁹ Fuente: Aguilar Rivero, Margarita; Salas Vidal, Héctor. La basura; manual para el reciclamiento urbano. México, D.F., Editorial Trillas, 1995.

* Referido a una tonelada de material.

6.5 Evaluación del Impacto Ambiental.

El deterioro ambiental de una ciudad que crece aceleradamente requiere de una acción planificada y concertada, que tiene que partir del reconocimiento de los roles que competen a las instancias provinciales y distritales del gobierno local, así como los que les competen a las instituciones estatales que, si bien hallan involucradas en el manejo de residuos sólidos, no poseen aún una estructura oficial de responsabilidad frente a las necesidades de un adecuado tratamiento de estos residuos.

Es así que se entiende por impacto ambiental al conjunto de efectos positivos y negativos que una actividad económica, en marcha o proyectada, ejerce sobre el nivel de vida y el ambiente físico de su zona de influencia. El concepto de impacto ambiental y la evaluación del mismo considera que el crecimiento económico real y a largo plazo debe estar sustentado con un plan de protección ambiental. Por lo general, la evaluación del impacto ambiental es un estudio formal que origina decisiones en el nivel gerencial dentro del proceso de planificación de proyectos dedicados al uso intensivo de mano de obra local, recuperación y protección de los recursos naturales o de minimización de desechos en general.

Las calles de las ciudades necesitan un cuidado especial en lo que concierne a su limpieza y eliminación de residuos. Todo ello tiene como objetivo mejorar la calidad de vida del hombre. Desde una época relativamente reciente, el volumen de desperdicios generados en las ciudades ha llegado a un volumen tal que se plantean problemas respecto a su recogida y eliminación.

Este problema se agrava año tras año debido a cuatro causas principales:

1. El crecimiento demográfico
2. La concentración de la población en núcleos urbanos.
3. La mayor utilización de bienes de rápido envejecimiento.

4. El uso más generalizado de envases sin retorno fabricados con materiales no biodegradables.

Los problemas originados por los RSD cuya gestión no es correcta son los siguientes:

1. Deterioro paisajístico.
2. Producción de malos olores.
3. Riesgos de incendios: los residuos fermentables son fácilmente auto inflamables.
4. Posibilidad de contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
5. Facilitan la presencia de roedores e insectos portadores de enfermedades.

En este contexto la obtención energética a partir de los residuos sólidos se presenta como una oportunidad de desarrollo para proyectos que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero por sustitución de combustibles fósiles, ofreciendo la opción de negociar la venta de estas emisiones a mercados especializados a través de los denominados “certificados de carbono”.

Las emisiones debido a la combustión del biogás incluyen emisiones de NOx, CO, SOx. Estos no son destruidos totalmente y son emitidos aunque en menores cantidades de cuando no se quema el biogás

El cono norte de Lima Metropolitana que comprende los distritos de Ancón, Comas, Carabaylo, Independencia, San Martín de Porres, Santa Rosa, Ventanilla, Puente Piedra, Los Olivos y Rimac, los cuales tienen, aproximadamente una población de dos millones de habitantes de las cuales el 60% vive en áreas marginales.¹²⁰

¹²⁰ Centro de Investigación Social y Educación Popular Alternativa 2000, Manejo Ambiental de Residuos Sólidos Áreas Peri-Urbanas

El manejo inadecuado de residuos sólidos es uno de los principales problemas que afecta al medio ambiente y a la salud humana en Lima. A pesar que la cantidad de residuos generados por los grupos de bajos ingresos generalmente es menor que la cantidad generada por los grupos de mayores ingresos.

En nuestro caso, los principales impactos ambientales identificados a continuación, resultan de un diagnóstico de las consecuencias producidas por la Generación de Residuos Sólidos en las actividades del Centro de Desarrollo Social y Económico de las diversas Comunas del cono Norte de Lima Metropolitana. Si analizamos los efectos negativos producidos sobre diferentes factores ambientales tendríamos no solo la contaminación sino además un impacto negativo sobre el agua, economía, flora y fauna, suelo, contaminación visual y contaminación sonora

CUADRO Nº 5.0 Los Factores y sus Impactos

FACTOR AMBIENTAL IMPACTADO	IMPACTOS
Agua	Producción de lixiviados y fenómenos de escorrentía, con el consiguiente peligro de contaminación de las cuencas de los Ríos Chillón y Rímac
Flora y fauna	Modificación o disminución de la cubierta vegetal y por tanto, peligro de erosión del suelo.
Economía	Una imagen descuidada de las Municipalidades que influye negativamente en la imagen de su comuna, así como diversos problemas de salud que suele traer
Contaminación Visual y Sonora	Deterioro del paisaje.
Suelo	Erosión del suelo

Además de todos estos impactos ambientales generados por la disposición incontrolada de residuos sólidos y la falta de un sistema de gestión de los mismos, no hay que dejar de señalar el impacto ambiental que causa la extracción de recursos destinados a la fabricación de los materiales que habitualmente terminan convirtiéndose en residuos.

Así, un abuso en la explotación de los recursos no renovables, conducirá sin duda, a una rápida desaparición de los mismos, y en el caso de los recursos renovables, una mala gestión en su utilización puede originar una degradación medioambiental que conduce a la desaparición de los mismos.

Si como decimos, gran parte del impacto ambiental de los residuos sólidos, está directamente relacionado con el consumo de recursos, un aumento del consumo de recursos supone un mayor impacto ambiental. Por ello, los Planes de gestión de residuos, tienen como objetivo la reducción del impacto que la ausencia de dicha gestión puede producir sobre el medio ambiente y la salud de las personas.

Esto se traduce en una política de gestión de minimización de impactos que se resume diciendo que **"es mejor prevenir que curar"**, o lo que es lo mismo, es más efectivo tratar de disminuir la generación de residuos sólidos que tener que buscar soluciones una vez se han generado.

6.5.1 Problemas ambientales derivados de un mal manejo de residuos.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos puede generar significativos impactos negativos para la salud humana. Los residuos son una fuente de transmisión de enfermedades, ya sea por vía hídrica, por los alimentos contaminados por moscas y otros vectores. Si bien algunas enfermedades no pueden ser atribuidas a la exposición de los seres humanos a los residuos sólidos, el inadecuado manejo de los mismos puede crear condiciones en los hogares que aumentan la susceptibilidad a contraer dichas enfermedades. Por otro lado prácticamente no existen sitios adecuados para procesamiento y disposición de residuos tóxicos. Los contaminantes biológicos y químicos de los residuos son transportados por el aire, agua, suelos, y pueden contaminar residencias y alimentos (por

ejemplo: carne de cerdo criados en botaderos que transmite cisticercosis) representando riesgos a la salud pública y causando contaminación de los recursos naturales. Las poblaciones más susceptibles de ser afectadas son las personas expuestas que viven en los asentamientos pobres de las áreas marginales urbanas y que no disponen de un sistema adecuado de recolección domiciliar regular.

Otro grupo de riesgo es el de las personas que viven en áreas contiguas a basurales clandestinos o vertederos abiertos. La población más expuesta a los riesgos directos son los recolectores y segregadores que tienen contacto directo con los residuos, muchas veces sin protección adecuada, así como también a las personas que consumen restos de alimentos extraídos de la basura. Los segregadores, y sus familias, que viven en la proximidad de los botaderos pueden ser, a su vez, propagadores de enfermedades al entrar en contacto con otras personas.

FIGURA Nº 5.2 Los recolectores y segregadores que tienen contacto directo con los residuos son los más expuestos



Los recolectores segregados son una amenaza para la salud pública, principalmente por la proliferación de vectores. En un botadero abierto es

común la presencia de animales que se alimentan con los residuos descartados y que muchas veces amenazan la seguridad de la aviación civil, cuando están en las proximidades de los aeropuertos.

FIGURA Nº 5.3 Botadero a cielo abierto con crianza de cerdos a orillas del Río Lurin, Distrito de San Pedro



El polvo transportado por el viento desde un botadero a cielo abierto puede portar patógenos y materiales peligrosos. En estos sitios, durante la biodegradación o quema de la materia orgánica se generan gases orgánicos volátiles, tóxicos y algunos potencialmente carcinógenos (por ejemplo, bencina y cloruro vinílico), así como subproductos típicos de la biodegradación (metano, sulfuro de hidrógeno y bióxido de carbono). El humo generado de la quema de basura en vertederos abiertos constituye un importante irritante respiratorio e influye en que las poblaciones expuestas sean mucho más susceptibles a las enfermedades respiratorias.

Los residuos sólidos pueden contener sustancias orgánicas e inorgánicas perjudiciales a la salud humana, y al ambiente natural. Un número alto de enfermedades de origen biológico o químico están directamente

relacionadas con la basura y pueden transmitirse a los humanos y animales por contacto directo de los desechos o indirectamente a través de vectores como se puede apreciar en el cuadro N° 5.1

La mayoría de las ciudades del Perú desgraciadamente no existe una recolección segura para los desechos tóxicos y peligrosos, lo que aumenta los riesgos a la salud de los trabajadores de recolección que, además de carecer de protección especial, no toman las precauciones necesarias para el manejo de esos desechos.

CUADRO 5.1 Enfermedades transmitidas por vectores relacionados con

Vectores	Forma de transmisión	Principales enfermedades
Ratas	<ul style="list-style-type: none"> A través del mordisco, orina y heces. A través de las pulgas que viven en el cuerpo de la rata. 	Peste bubónica Tifus marino Leptospirosis
Moscas	<ul style="list-style-type: none"> Por vía mecánica (a través de las alas, patas y cuerpo). A través de la heces y saliva. 	Fiebre tifoidea Salmonelosis Cólera Amebiasis Disentería Giardiasis
Mosquitos	<ul style="list-style-type: none"> A través de la picazón del mosquito hembra. 	Malaria Leishmaniosis Fiebre amarilla Dengue Filariosis
Cucarachas	<ul style="list-style-type: none"> Por vía mecánica (a través de alas, patas y cuerpo) y por la heces. 	Fiebre tifoidea. Cólera Giardiasis
Cerdos y ganado	<ul style="list-style-type: none"> Por ingestión de carne contaminada. 	Cisticercosis Toxoplasmosis Triquinosis Teniasis
Aves	<ul style="list-style-type: none"> A través de las heces 	Toxoplasmosis

mún que

¹²¹ Fuente: Manual de Saneamiento e Proteção Ambiental para os Municípios, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFGM). Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAMMG),

Es común que los residuos hospitalarios e industriales sean descargados junto con la basura doméstica en los puntos de disposición final municipal, sin ninguna medida especial para proteger a los trabajadores formales e informales.

La exposición humana a los residuos peligrosos puede ocurrir:

- En los sitios de su producción (exposición ocupacional o exposición durante accidentes)
- Durante el transporte de residuos en el caso de accidentes.
- En los sitios donde se almacenan o se depositan para su tratamiento.

Los trabajadores formales e informales se encuentran expuestos a diversos factores de riesgos generados por las tareas de manejo y transporte de los residuos sólidos. La falta de medidas de prevención y control de riesgos, especialmente en la recolección manual de los mismos y debido a las condiciones poco seguras del manejo de la basura, falta de hábitos y condiciones de higiene entre los trabajadores aumenta la incidencia de accidentes y enfermedades asociadas, tales como los cortazos por materiales punzo cortantes, las infecciones y otras enfermedades asociadas a exposición a productos peligrosos.

Entre las medidas de prevención y protección de la salud de los trabajadores se debe incluir la vacunación de todas las personas en contacto con la basura, la protección individual con equipos apropiados, programas de educación sanitaria y el acceso limitado a los botaderos.

FIGURA Nº 5.4 Grave situación por 'disposición final' no-formal cerca a la Quebrada de Huaycoloro



El aspecto sociocultural tiene un papel crítico en el manejo de los residuos. Uno de los principales problemas es la falta de conciencia colectiva y/o conductas sanitarias por parte de la población para disponer sus residuos, dejándolos abandonados en calles, áreas verdes, márgenes de los ríos, playas, deteriorando así las condiciones del paisaje existente y comprometiendo a la estética y al medio.

Por otro lado, la degradación ambiental conlleva costos sociales y económicos tales como la devaluación de propiedades, pérdida de turismo, y otros costos asociados, tales como, la salud de los trabajadores y de sus dependientes. Impactos positivos pueden ser la generación de empleos, el desarrollo de técnicas autóctonas, de mercados para reciclables y materiales de rehusó

**FIGURA Nº 5.4 Botadero a cielo abierto a orillas del Río Chillón
Distrito de Comas**



6.5.2 La Procedencia de los Contaminantes

El proceso de combustión, sin embargo, aumenta en las emisiones de contaminantes críticos como los óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y materia en partículas (PM) emitidas por rellenos sanitarios.

Aunque ambos el metano y el dióxido de carbono son considerados gases invernadero, el dióxido de carbono presente en el biogás generalmente no es considerado un gas invernadero. Más bien, el dióxido de carbono es considerado biogénico y parte natural del ciclo de carbono. El metano presente en el biogás sí es considerado un gas invernadero y por ende, la colección y combustión de este resulta en una reducción neta de un gas de efecto invernadero.

Los impactos ambientales que pueda tener la implementación de un sistema de colección y control de biogás en el relleno sanitario, incluyendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero,

La tabla muestra la emisión de contaminantes procedentes de los combustibles en el mundo.

Tabla Nº 5.11 Porcentaje de la Emisión de Contaminantes en el Mundo¹²².

	Consumo %	% CO ₂	%SO ₂	%NO _x	%H _n C _m
Carbón	30,7	43,1	17,5	48,2	24,9
Petróleo	43,4	39,4	82,5	37,1	62,5
Gas Natural	25,9	17,5	----	14,7	12,5

Tabla Nº 5.12 Efectos de los Contaminantes de los Combustibles.

	Lluvia ácida **	E. Invernadero	Smog Fotoquímico
SO ₂			
NO _x	*	*	*
H _n C _m			*
CH ₄		**	
CO ₂		***	

Como se observa en la Tabla Nº 5.12 tanto el CO₂ y el CH₄ son dos de los principales elementos que son causantes del efecto invernadero.

Tabla Nº 5.13 Presencia de los diversos componentes de los RSD en porcentaje de los distritos de Lima Norte.

Distritos	%CH ₄	% CO ₂	%NH ₃
Ancón	51.07	46.59	2.34
Carabayllo	51.11	46.39	2.50
Comas	51.09	46.54	2.37
Independencia	51.10	46.29	2.62
los olivos	51.08	45.64	3.28
Puente piedra	51.06	46.35	2.58
SMP	51.11	46.36	2.52
Ventanilla	51.10	46.42	2.48
Promedio	51.09	46.32	2.59

Como se observa en la tabla Nº 5.13 la presencia de CO₂ (46.32%) es similar a los de combustibles como el carbón mineral y el Petróleo.

¹²² Los residuos sólidos como combustibles sistemas de conversión energética; Xavier Elías Medellín, Junio 2002.

6.5.3 Sistemas de Control Ambiental.

El sistema formal de recolección de residuos de Lima y Callao recolecta el 68% de los residuos sólidos municipales: el restante 22% (1,425 Tonelada/día) es arrojado al río Rímac, quemado en las calles de la periferia de la ciudad, segregado para el reciclaje o destinado para las granjas ilegales de cerdos. Diez principales botaderos activos de la ciudad movilizan un volumen de aproximadamente 19,750 m³ de residuos sólidos y 9,550 cerdos. Se estima que cada mes se estarían reciclando entre 500 y 850 toneladas de desechos incluyendo papel y cartón, plásticos, metales, vidrios, baterías y textiles. Existen aproximadamente 1,500 empresas de reciclaje en la ciudad, principalmente pequeñas e informales, y 5,000 personas que se dedican a alguna actividad vinculada con el reaprovechamiento informal de los residuos sólidos¹²³. El aprovechamiento energético de estos residuos disminuiría a pesar de que el funcionamiento de sistemas térmicos produce diversos impactos sobre el ambiente, incluyendo emisiones gaseosas y de partículas, residuos sólidos y efluentes líquidos.

El diseño correcto de los sistemas de control para estas emisiones es una parte crítica del diseño de un sistema de procesamiento térmico. En algunos casos, el costo y la complejidad de un sistema de control ambiental es equivalente o incluso mayor que el costo de muchísimo sistema de recuperación térmica. En este parte se presenta una introducción a estos impactos ambientales y a las tecnologías de control para gestionarlos.

6.5.3.1 Emisiones Atmosféricas.

¹²³ *GEO LIMA CALLAO Perspectivas del Medio Ambiente Urbano*

Según el estudio realizado por la Agencia para la Protección Ambiental (E.P.A) se identificó los contaminantes con una importancia específica. Se recogieron datos científicos sobre las relaciones entre diversas concentraciones de contaminantes atmosféricos y sus efectos adversos para los humanos y el medio ambiente. Esta información fue utilizada para preparar una lista de criterios de contaminación y de niveles ambientales aceptables. Estos niveles son conocidos como Normas sobre la Calidad del Aire Ambiental. Los contaminantes de criterio identificados incluyen Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Ozono, Materia Aspirable en Partículas (También conocidas como **PM10**) y Plomo, además de estos contaminantes, la E.P.A ha identificado otros contaminantes atmosféricos preocupantes, pero todavía no ha establecido normativas de Aire Ambiental para ellos. Estos contaminantes son conocidos colectivamente como contaminantes no-clasificados. A continuación se detallará algunas descripciones de los contaminantes clasificados y de los más significativos contaminantes aún no clasificados.

- **Óxidos de Nitrógeno (NO_x)**

Tanto los NO (Monóxidos de nitrógeno) como los NO₂ (Dióxido de nitrógeno), clasificados como NO_x son los contaminantes más importantes. Hay dos fuentes principales de NO_x en la combustión. El NO_x térmico se forma mediante reacciones entre el nitrógeno y el oxígeno del aire utilizado para la combustión. El NO_x combustible se forma mediante reacciones entre oxígeno y nitrógeno orgánico en el combustible. Los óxidos nitrilo (PAN), oxidante fotoquímicos conocidos como smog (niebla con humo). Los óxidos de nitrógeno

también contribuyen a la formación de aerosoles nítricos (gotas líquidas) que pueden causar niebla y lluvia ácida.

- **Dióxidos de Azufre (SO_2)**

El dióxido de azufre se forma mediante la combustión de combustible que contiene azufre. El dióxido de azufre es un gas irritante para los ojos, la nariz y la garganta. En altas concentraciones puede causar enfermedades o la muerte en personas ya afectadas por problemas pulmonares como asma y bronquitis. El dióxido de azufre se relaciona con la producción de lluvia y nieve ácidas, que afecta a lagos, ríos y bosques en los pocos lugares verdes de Lima.

- **Monóxido de Carbono (CO)**

El monóxido de carbono, formado durante la combustión de materiales carbonosos cuando existe una insuficiencia de oxígeno, reacciona con la hemoglobina en la corriente sanguínea para formar carboxihemoglobina (HbCO). El cuerpo humano confunde la HbCO con la Oxihemoglobina (HbO_2), que normalmente transfiere el oxígeno a los tejidos vivos a través del cuerpo. La falta de oxígeno puede causar dolores náuseas e incluso la muerte en concentraciones extremadamente altas.

- **Dióxido de Carbono (CO_2)**

La humanidad produce en la actualidad ingentes cantidades adicionales de dióxido de carbono (CO_2), que crean un desbalance en la atmósfera porque dicho gas no puede ser fijado totalmente a través de la fotosíntesis. El incremento en el CO_2 está ocurriendo desde el siglo pasado, debido a la industrialización, el consumo de ingentes cantidades de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) y por descomposición de la inmensa cantidad de materia orgánica

contenida en los bosques, que han sido aceleradamente destruidos (tala, quema), sobre todo en las últimas décadas.

La atmósfera terrestre en general acumula el calor, reteniendo las radiaciones caloríficas desde la tierra al espacio. El CO₂ y el vapor de agua, que representan una fracción muy pequeña en la composición de la atmósfera, ejercen una influencia muy importante en el balance de calor entre la atmósfera y la Tierra. Ambas sustancias dejan pasar la radiación solar de onda corta, pero son absorbentes de las longitudes de ondas reflejadas o emitidas desde la tierra hacia el espacio. Es por eso que producen un efecto de calentamiento de la atmósfera, conocido como efecto invernadero.

Tabla Nº 5.14 Niveles de CO₂ en porcentaje presentes en los RSD

Distrito	CO₂ %
Ancón	46.59
Carabaillo	46.39
Comas	46.54
Independencia	46.29
Los Olivos	45.64
Puente Piedra	46.35
SMP	46.36
Ventanilla	46.42
Promedio	46.32

Los niveles de presencia de CO₂ en los RSD son muy similares a la del carbón mineral el cual es 43.1% y al petróleo 39.4% y muy superior a Combustibles como el gas natural 17.5% según la tabla Nº 5.13 y 5.11 anteriormente mencionadas.

○ **Materias Particuladas (MP)**

Se forma la materia en partículas durante la combustión mediante varios procesos incluyendo la combustión incompleta del combustible y el arrastre físico de los no combustibles. Las

emisiones de partículas causan reducciones en la visibilidad y efectos sobre la salud. Las partículas más pequeñas de $10\text{ }\mu\text{m}$ ($10 \times 10^{-6}\text{m}$) son críticas por que pueden aspirarse profundamente en los pulmones. Hay que resaltar que aproximadamente del 20 al 40 por ciento de las emisiones de partículas son de menos de $10\text{ }\mu\text{m}$ de diámetro y del 7 al 10 por ciento son de $2\text{ }\mu\text{m}$ de diámetro.

- **Metales**

Los residuos sólidos urbanos son una mezcla heterogénea. Muchos artículos relativamente inocuos, tales como plástico, revistas de lujosa presentación y pilas de linterna que contienen elementos metálicos. Los metales que plantean las mayores inquietudes desde el punto de vista de la salud pública son: cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg) y plomo (Pb). Después de los procesos de conversión energética como la incineración estos emiten o bien como materia en partículas o bien vaporizados en su forma gaseosa. El mercurio es un problema especial a este respecto, porque se volatiliza a una temperatura relativamente baja, 329°C . Algunos metales se concentran en pocos productos de consumo y podrían separarse del flujo de residuos antes de la incineración.

- **Gases Ácidos**

La incineración de residuos que contiene flúor y cloro genera gases ácidos, como el fluoruro de hidrógeno (HF) y el cloruro de hidrógeno (HCl). Se encuentran cantidades traza de flúor en muchos productos, mientras que el cloro se localiza principalmente en los plásticos, sobre todo en el policloruro de

vinilo (PVC), el poliestireno (PS) y el polietileno (PE). Asimismo la incineración de residuos que contengan azufre y nitrógeno pueden provocar la formación de gases ácidos. El SO_2 puede oxidarse para la formar SO_3 y más tarde reaccionar con las gotas del agua que se encuentran en la atmósfera para formar ácidos sulfúricos (H_2SO_4). La emisión de NO_2 puede formar en la atmósfera ácido nítrico (HNO_3) lo cual es muy factible en nuestro medio debido al alto grado de humedad que contiene nuestra atmósfera en Lima.

- **Dioxinas y Furanos**

La emisión de compuestos orgánicos de la familia de las dioxinas y furanos se ha convertido en uno de los asuntos más complejos y controvertidos del procesamiento térmico de **RSU**. Una dioxina pertenece a la familia de los compuestos orgánicos conocidos como policlorodibenzodioxina (**PCDD**).

Una molécula de PCDD está formada por una estructura de triple anillo en la que los dos anillos del benceno están interconectadas por un par de átomos de oxígeno. La familia de policlorodibenzofurano (**PCDF**) tiene una estructura similar, excepto que solamente un átomo de oxígeno une los dos anillos del benceno (ver Figura 5.3-B). La importancia de las familias PCDD y PCDF de compuestos orgánicos radica en que algunos de sus isómeros se encuentran entre las sustancias más tóxicas que existen. Los isómeros de PCDD y PCDF han sido analizados como contaminantes en diversos productos químicos industriales; por ejemplo, en los herbicidas, así mismo se ha encontrado que los PCDD y los PCDF tienen propiedades

cancerígenas en animales, aunque últimamente se ha cuestionado su cancerogenicidad potencial en humanos¹²⁴. Las dioxinas en altas dosis tiene bajo riesgo cancerígeno (como en accidentes industriales); pero no son un riesgo cancerígeno en bajas dosis, tal como se puede producir en el aire ambiental de una incineradora de RSD.

Se sabe que los PCDD y PCDF son emitidos en bajas concentraciones desde los sistemas de incineración que queman RSD y CDR. También hay evidencias que se produce PCDD y PCDF en todos los procesos de combustión, incluso en los hogares domésticos y en estufas de quemar madera.

6.5.3.2 Sistemas para el Control de la Contaminación Atmosférica.

Para diseñar y poner en práctica un Plan de Gestión de Residuos Sólidos efectivo, es necesario desarrollar una completa comprensión de las diferentes unidades y puntos de proceso en el que se generan residuos. Para ello, se debe obtener información de los residuos emitidos en los diferentes medios (aire, agua y suelo) al final del proceso y después analizar hacia el interior del proceso para determinar su fuente de producción.

Las herramientas de diagnóstico ambiental que deberían ser empleadas para la caracterización de cada proceso deberían ser:

- Auditoria Medioambiental de las actividades
- Informe de Impacto Ambiental
- Informe Medioambiental Conjunto de las Actividades.
- Fichas de diagnóstico ambiental de cada una de las actividades.

¹²⁴ Investigación del **V.N Houk** Centro para el Control de Enfermedades (EEUU)

A partir de la información obtenida por estos medios, se caracterizan los sistemas para el control de la contaminación atmosférica desde el punto de vista de la generación de residuos sólidos.

Para diseñar un Plan Integral de Gestión de residuos sólidos, es necesario caracterizar apropiadamente los residuos que se generan y el porcentaje de residuos de cada tipo, su cantidad actual y proyectada, así como la composición de cada uno de ellos.

Las medidas de mitigación empleadas para reducir los impactos ambientales negativos dependen de una serie de factores, entre los cuales destacan : las características del proyecto, tecnología usada, localización, condiciones de operación (tamaño, clima), etc., no obstante es posible identificar los impactos mas frecuentes generado por este tipo de faena y las medidas que normalmente se emplean para su mitigación.

Olores:

- Utilización de pantallas vegetales, (árboles, arbustos)
- Tratamiento de los líquidos percolados
- Quema del biogás cuando hay metano suficiente

Ruidos:

- Pantallas vegetales
- Utilizar equipos de baja emisión de ruidos.

Alteración del suelo:

- Adecuada impermeabilización del relleno sanitario, para evitar filtraciones

- Vegetación para evitar erosión relleno para evitar nivelar zonas con asentamiento diferencial o pendientes fuertes.

Diseminación de materiales:

- Configurar barreras para evitar que el viento incida sobre el frente de trabajo
- Utilizar mallas interceptoras
- Desprender residuos de camiones antes que abandonen el relleno.

Material particulado:

- Riego de camino y de la tierra acumulada para el recubrimiento
- Pantallas vegetales en el perímetro del relleno.

Control de vectores:

- Mantener aislado sanitariamente el recinto mediante la formación de un cordón sanitario que impida la infestación del relleno por roedores y el paso de especies animales desde y hacia el recinto.
- Realizar fumigaciones y desratizaciones como mínimo, cada 6 meses. Los elementos químicos que se empleen en esta actividad, deben estar acordes con la legislación.

Incremento movimiento vehicular:

- Tratar de que la recolección se haga en horas diferidas
- En caso de vehículos de estaciones de transferencia tratar que estos lleguen en forma secuencial.

Líquidos percolados:

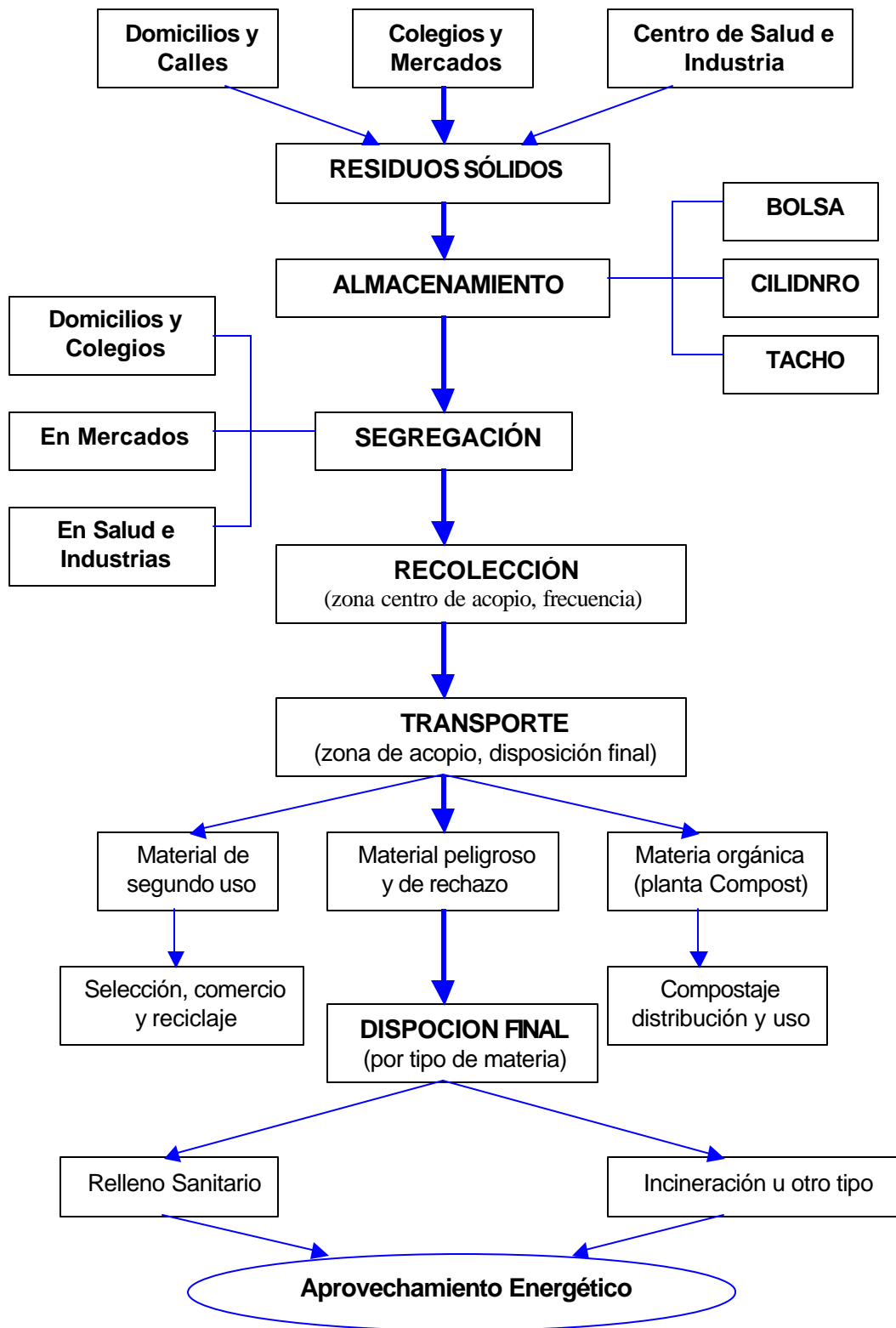
- Almacenamiento en depósitos cerrados

- Recirculación
- Tratamiento físico químico y/o biológico.

Biogás:

- Extracción con fines de utilización
- Quema controlada

6.6 Planteamiento de los Componentes del Sistema de Tratamiento Integral de los Residuos Sólidos.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6 Conclusiones

1. El nivel de humedad de la basura de los países industrializados que se ubica entre el 20 y el 40%; mientras que el nivel de humedad de la basura en los países subdesarrollados figura entre el 50 y el 70%, siendo esta en promedio para el cono norte de Lima Metropolitana de 61.53%.
2. Los resultados demuestran la posibilidad real de obtener energía calorífica a partir de los residuos sólidos en el Cono Norte de Lima Metropolitana; pero la alta concentración de humedad en los residuos sólidos implicaría que en el proceso de la combustión, se requiera el uso de combustible adicional.
3. Los residuos sólidos urbanos del Cono Norte de Lima Metropolitana generan en promedio 2635 Kcal./Kg., siendo el distrito de Ancón el de menor PCI con 2.119 Kcal./Kg. y el distrito de SMP el de mayor PCI con 3.503 Kcal./Kg., conociendo que el conjunto incinerador caldera tiene una eficiencia del 70%, se puede decir que los residuos sólidos urbanos pueden generar aproximadamente 1,844.5 Kcal./Kg.; Esta energía puede ser aprovechada para generar solamente vapor y vender directamente este producto ó ser empleado para la generación de energía eléctrica por medio de una turbina;.

4. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que los RSD tenga un contenido de humedad del 35%. El proceso productivo de los RSD del Cono Norte de Lima poseen un contenido de humedad muy superior, lo que obliga a implementar un proceso de secado, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.
5. Tomando en cuenta el análisis de las propiedades de los residuos como combustible particularmente el poder calorífico se obtiene que la energía calorífica de los RSD se encuentra en un 25% con respecto a un combustible líquido (kerosene, petróleo Diesel 2), 63% con respecto a la paja, 59.21% con respecto al Carbón Vegetal y un 24% con los combustible gaseoso (gas licuado de petróleo).
6. De estos residuos sólidos se pueden fabricar briquetas o pellets que permita ser empleados en forma racional y planificada en las cocinas populares o en los programas del vaso de leche de las municipalidades del cono norte de Lima Metropolitana.
7. La relación H/C de los RSD hallada se encuentra cercana a 0.13, mientras que la relación H/C de la Materia Orgánica presente en los RSD es cercana a 0.14, lo cual nos indica que se encuentran cercanas a las características de un petróleo residual, y de la gasolina.
8. El aprovechamiento energético de estos residuos puede realizarse por dos vías: mediante procesos micro-biológicos: fermentación anaerobia o biogasificación, y mediante procesos térmicos: pirolisis, gasificación y combustión.
9. La obtención de energía calorífica a partir de los residuos sólidos permite contribuir con el desarrollo sostenible, evitando la contaminación del aire, agua y suelo.
10. El metano de los rellenos sanitarios se estima que contribuye con el 35% del total global de las emisiones de gases que causan el efecto invernadero; así mismo la generación eléctrica con biogás de los rellenos sanitarios están en los primeros

lugares de la lista para obtener Certificados de Crédito de Carbono. 1mW generado por biogás de un relleno sanitario es equivalente a más de 30,000 toneladas de CO₂ por año.

11. El porcentaje de producir CO₂ es de 46.32% del volumen de los RSD; siendo estos similares a combustibles como el carbón mineral que esta en el rango de 43.1% y el petróleo en 39.4%.
12. Uno de los principales problemas de la obtención de energía a través de los residuos sólidos es la presencia de las elevadas cantidades de NH₃ el cual generara un olor punzante característico, que se hace perceptible en concentraciones sobre las 50 partículas por millón (ppm).
13. El costo de producir 1kWh en función de los RSD tendría un valor de \$ 3.5 a 6.2 centavos de dólar, en promedio según los índices de producción de energía que se dan en los países de la región como Chile y Colombia; comparado con el costo marginal de producir 1kWh de energía eléctrica que es de \$ 2.94; para el Perú según el SEIN a enero del 2006.
14. Un 1m³ de Biogás obtenido de los RSD es equivalente a 0.45 lt. de gasolina, 0.44 de GLP, y 1.54 Kg. de leña con un 10% de humedad.
15. Entre las ventajas de obtener energía térmica de los RSD podemos mencionar lo siguiente:
 - Reduce la demanda por recursos naturales así como permite la reutilización y reciclaje de un porcentaje de los residuos.
 - Reduce el volumen total de residuos que va a disposición final.
 - El proceso genera un producto que permite acondicionar suelos, residuos cenizas residuales pueden ser empleadas como abono vegetal.
 - Potencial transformación de suelos estériles (arcillosos, arenosos) en suelos productivos.
 - Es posible generar energía en forma de calor, vapor o electricidad.

- Crea nuevas fuentes de trabajo.

16. Entre las desventajas obtener energía térmica de los RSD podemos mencionar lo siguiente:

- Impactos de transporte y recolección pueden ser altos.
- Requiere de un mercado estable para materiales reciclables.
- Potenciales problemas de generación de olores y lixiviados.
- El gas producido debe ser tratado para remover los contaminantes antes de ser combustiónado.
- El proceso es sensible a la contaminación por presencia de materiales como plásticos y metales por lo que es necesaria una separación cuidadosa.
- Riesgo por emisión de metano no apropiadamente manejado.
- Instalaciones a gran escala tienen altos costos de capital.
- Potenciales impactos locales por ruido.
- Solo trata la materia orgánica.
- Mercado para el producto final no desarrollado.

6.1 Recomendaciones.

1. La alta concentración de humedad presente en los residuos sólidos domiciliarios en el Cono Norte de Lima Metropolitana esta ligado directamente en el proceso de la combustión, es por ello que debería realizarse un estudio sobre los procesos de secado para obtener la humedad optima, y ver la posibilidad de usar un túnel de secado en forma continua.
2. Por la magnitud de la producción de los residuos sólidos domiciliarios se debe crear, diseñar y establecer una política de manejo de estos en las diversas Municipalidades del Cono Norte de Lima Metropolitana, que complemente el proceso de reciclado que actualmente se viene dando en forma informal, así como

la posibilidad de obtener energía a través de estos implementando programas de aprovechamiento energético o de conversión energética como energía eléctrica o combustible para cocinas como briquetas o pellets, para los sectores urbano rurales y rurales.

3. Crear, Diseñar o implementar métodos para la disminución de NH_3 , el cual generara un olor punzante característico durante el proceso de conversión energética de los RSD.
4. Desarrollar un estudio sobre las forma más eficientes del aprovechamiento energético de los RSD en función de costos y eficiencia de energía; es decir el empleo de la energía calorífica para la obtención de electricidad o como combustible para uso domestico como por ejemplo briquetas o pellets.
5. Desarrollo de un plan piloto en conjunto con las municipalidades del Cono Norte de Lima Metropolitana que permita ver los alcances de la disminución de los RSD y así mismo obtener una fuente de combustible alternativo a los ya conocidos y sobre todo a bajo costo.

6.2 Bibliografía

1. ALTERNATIVA. Generación y Caracterización de los Residuos Sólidos Domiciliarios Comerciales y de Mercados del Cono Norte de Lima. 2000.
2. ALTERNATIVA. Hacia el Plan Maestro de Gestión para el Manejo Integral de Residuos Sólidos del Cono Norte de Lima. 2000.
3. ALTERNATIVA. Plan Distrital de Gestión para el Manejo de Residuos Sólidos de Independencia (2000-2003). 1999.
4. ALTERNATIVA. Plan Distrital de Gestión para el Manejo de Residuos Sólidos de Ventanilla (2000-2003). 1999.
5. Banco de Desarrollo para América del Norte. BDAM. Programa Ambiental para el manejo de residuos sólidos. 2002.
6. Banco Interamericano de Desarrollo - BID. Guía Evaluación de Impacto Ambiental Para Proyectos de Residuos Sólidos Municipales. 1997.
7. CONAMA-Instituto del Medio Ambiente GYLANIA. Reciclando en la Comuna: Manual para funcionarios Municipales. Chile. 2001.
8. Consejo Nacional del Ambiente. CONAM. Estrategia Regional para la Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad Biológica (Punto Focal Lima). 1999.
9. Consejo Nacional del Ambiente. CONAM. Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente GEO-2000. 2000.
10. Dirección General de Saneamiento Ambiental. DIGESA. Análisis Sectorial de Residuos Sólidos del Perú. 1998.
11. Dirección General de Saneamiento Ambiental. DIGESA. Red de Monitoreo de la calidad Ambiental en Lima Y Callao. 2001.
12. INICAM, PROVERDE, GAIA. Hacia una política nacional de clausura de botaderos. Lima, Perú. 2002.

13. Instituto de Promoción de la Economía Social. IPES. La basura en Lima. Problemas y soluciones. Lima. 1995.
14. Instituto Nacional de Estadística e Informática. INEI - Censo Nacional 1993.
15. Instituto Nacional de Estadística e Informática. INEI. Lima Metropolitana Perfil Socio-Demográfico. 2000.
16. Instituto Nacional de Estadística e Informática. INEI. Migraciones Internas. 1995.
17. Instituto Nacional de Estadística e Informática. INEI. Perú: Estadísticas de Medio Ambiente. 2000.
18. Norris Ruth - Grupo de Planeación Ínter agencias (IPG). Manual de Fondos Ambientales. México, 1999.
19. Organización Panamericana de la Salud – Banco Interamericano de Desarrollo (OPS-BID).Acurio. G. Et all. Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. 1997.
20. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. SPDA. Boletín Equilibrio al Día: La Gestión Ambiental en el debate Municipal. Noviembre 2002.
21. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Arenas Sovero R. Tupac Espíritu H. Caracterización de residuos sólidos urbanos (áreas verdes y mercado) para la elaboración de compost en el distrito de Los Olivos. Tesis Ciclo Optativo De Profesionalización En Gestión De La Calidad Y Auditoria Ambiental. 2002.
22. Werner P. Bauer Geschäftsführer. Financiación De La Gestión Integral De Residuos Sólidos y Aplicación Del Decreto Sobre Empaques Y Embalajes en Baviera. Documento presentado en el Simposio Internacional Gestión Integral De Los Residuos Sólidos Y Peligrosos: Prioridad Ambiental Para Colombia. 2001.
23. Guía Metodologica para la evaluación del impacto ambiental Vicente Conesa; Luis Conesa; Ediciones Mundi Prensa Madrid; Tercera edición
24. Sakurai, Kunotishi. 1981. Aspectos básicos del servicio de aseo; análisis de residuos sólidos; manual de Instrucción. Lima: CEPIS.

25. Tello Espinoza, Carmen del Pilar. 1991. Diagnóstico preliminar de la situación de los residuos sólidos hospitalarios en Lima metropolitana. Lima: CEPIS.
26. Economías populares en el área urbano-marginal de Lima metropolitana (experiencias en San Martín de Porres) / Aguilar Cruz, Jesús.-- ALTERNATIVA. Departamento de Promoción del Empleo.-- Lima: Perú:
27. Estado Actual y Perspectivas de las Fundiciones del Cono Norte de Lima Metropolitana / ALTERNATIVA. Serie: Materiales de trabajo; ALTERNATIVA. Departamento Promoción del Empleo.-- Lima: Perú: ALTERNATIVA, 1989
28. Herrera, T. A Lang, R y Tchobanoglous G; A Study of the Emissions OF volatile Organic Compounds Found in Landfills, Chelsea, MI, 1989.
29. Young, H. D Statistical Treatment of Experimental Data, McGraw-Hill, New York, 1999.
30. The Center for enter for Migration and integration and Development Working Paper Series • Princeton University.
31. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud - OPS - OMS. Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación de Aire, Agua y Suelo. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México.
32. Residuos Sólidos Municipales: Guía Para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Jorge Jaramillo, Washington, D.C., Septiembre de 1991.
33. Fielder, H.; O. Hutzinger y C.W. Timms. Toxicological and Environmental Chemistry, 1990, 29, pp. 157-234.
34. Olie, K.; P.L. Vermuelen y O. Hatzinger. Chemosphere, 1977, 8, 445-459.
35. *Warmer Bulletin* n° 47, Nov. 1995, Pág. 23.
36. Blanco, J. y A. Romero. PCT/ES98/00053

37. Manual de Líneas operativas para los municipios. Radicar la Vida erradicando basurales. Unión Europea. Ministerio de Salud y Seguridad Social. Gobierno de Córdoba
38. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe, Acurio, G.; Rossín, A.; Teixeira, P.; Zepeda, F., OPS/Washington, D.C., US), 2002, 153 p. tablas. Español.
39. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Arenas Sovero R. Tupac Espíritu H. Caracterización de residuos sólidos urbanos (áreas verdes y mercado) para la elaboración de compost en el distrito de Los Olivos. Tesis Ciclo Optativo De Profesionalización En Gestión De La Calidad Y Auditoria Ambiental. 2002.
40. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. SPDA. Boletín Equilibrio al Día: La Gestión Ambiental en el debate Municipal. Noviembre 2002.
41. Congreso Mundial ISWA 2005: Hacia un Sistema Integral de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos; Buenos Aires, 6-10 nov. 2005.
42. Estado del Conocimiento de los Impactos de los Incineradores de Residuos en la Salud Humana Por Michelle Allsopp, Pat. Costner y Paúl Johnston Laboratorios de Investigación de Greenpeace

Paginas Web

1. www.scruz.gov.ar/recursos/educacion/opiaus01/gestionary.htm.
2. www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias1998/C2-315.pdf.
3. www.alter.org.pe.
4. <http://nakuy.rcp.net.pe/downloads/inei/otros/amb0305.pdf>
5. <http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a014.html>.
6. <http://www.portalforestal.com/medioAmbiente/rsu.asp>
7. www.contactopyme.gob.mx
8. http://www.energia.gob.mx/wb2/Sener/Sene_361_biomasa.
9. <http://www.corpodib.com/estudios3.htm#descripcion>.
10. <http://www.coes.org.pe/coes/index.asp>
11. www.cepis.ops-oms.org.
12. www.portalforestal.com/medioAmbiente/rsu.asp
13. <http://iner.udea.edu.co>.
14. <http://ing.unne.edu.ar/termodinamica/termodinamica.htm>
15. <http://www.conam.gob.pe/modulos/home/residuossolidos.asp>
16. <http://www.fonamperu.org/General/Portada/link7.php>
17. <http://www.iadb.org/sds/doc/ENVResSolidosS.pdf>
18. <http://www.sgp.org.pe/Diciembre05/SGL.htm>
19. <http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=906>
20. <http://www.portalmunicipal.gob.pe>